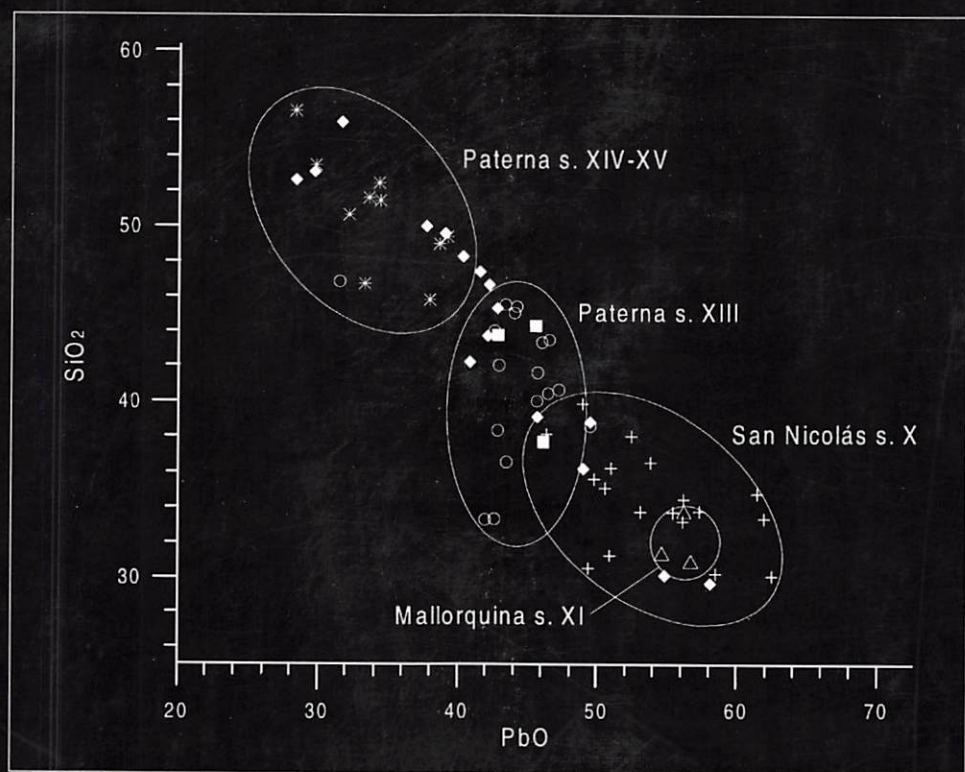


CÆSARAUGUSTA

Nº 73

II CONGRESO NACIONAL DE ARQUEOMETRÍA



**Publicaciones
de la
Cátedra
José Galiay**

73

Este volumen recoge la publicación de los trabajos presentados en el

II CONGRESO NACIONAL DE ARQUEOMETRÍA

celebrado en Zaragoza, del 16 al 19 de septiembre de 1997,
organizado por el Grupo de Espectroscopía Analítica y Sensores del Departamento de Química Analítica y el Grupo Interdisciplinar de Arqueometría, de la Universidad de Zaragoza.

Comité organizador:

Dra. Josefina Pérez Arantegui
Dra. M.^a Pilar Lapuente Mercadal
Dra. M.^a Carmen Aguarod Otal
Dr. Juan Ramón Castillo Suárez

Comité científico:

Dra. M.^a Carmen Aguarod Otal. Ayuntamiento de Zaragoza.
Dr. Miguel Beltrán Lloris. Museo de Zaragoza.
Dra. Josefa Capel. Universidad de Granada.
Dra. M.^a Pilar Lapuente Mercadal. Universidad de Zaragoza.
Dra. Josefina Pérez Arantegui. Universidad de Zaragoza.
Dra. Pilar Utrilla. Universidad de Zaragoza.
Dr. Mario Vendrell Saz. Universidad de Barcelona.

Entidades financiadoras y colaboradoras:

Dirección General de Enseñanza Superior e Investigación Científica (Ministerio de Educación y Cultura)
Universidad de Zaragoza
Institución «Fernando el Católico»

CÆSARAUGUSTA

Publicaciones
de la
Cátedra
José Galiay

73

II CONGRESO NACIONAL DE ARQUEOMETRÍA



INSTITUCIÓN «FERNANDO EL CATÓLICO» (C. I. S. C.)
EXCMA. DIPUTACIÓN DE ZARAGOZA

1999

Publicación núm. 2.031
de la
Institución «Fernando el Católico»
(Excma. Diputación de Zaragoza)
Plaza de España, 2
50004 ZARAGOZA
Tf.: (34) 97 628 8878/79 - Fax (34) 97 628 8869
ifc@dpz.es

CONSEJO DE REDACCIÓN

Director

D. Miguel Beltrán Lloris

Consejeros

D. Antonio Beltrán Martínez

D. Guillermo Fatás Cabeza

D. Manuel Martín-Bueno

D.ª M.ª Pilar Utrilla Miranda

FICHA CATALOGRÁFICA

CAESARAUGUSTA / Institución «Fernando el Católico».-
N.º 1 (1951).- .- Zaragoza: Institución «Fernando
el Católico», 1951.- .- 24 cm.

Semestral

Es continuación de: *PSANA*

ISSN 0007-9502

I. Institución «Fernando el Católico», ed.
902

TODA LA CORRESPONDENCIA, PETICIONES DE ENVÍOS, REMISIÓN DE PUBLICACIONES,
ETC., DEBEN DIRIGIRSE A INSTITUCIÓN «FERNANDO EL CATÓLICO». PALACIO
PROVINCIAL, PLANTA BAJA. PLAZA DE ESPAÑA, 2. 50004 ZARAGOZA (ESPAÑA)

*Cubierta: Gráfica que muestra la presencia de plomo en los esmaltes islámicos
y mudéjares.*

I.S.S.N.: 0007-9502

Depósito Legal: Z. 35-1958

Impreso en España

S U M A R I O

ARTÍCULOS

Págs.

La tecnología de la cerámica islámica y mudéjar, por J. MOLERA T. PRADELL, L. MERINO, M. GARCÍA-VALLÉS, J. GARCÍA-ORELLANA, N. SALVADÓ y M. VENDRELL-SAZ	15
La cerámica «verde y negro» de los talleres islámicos de Zaragoza: características tecnológicas de sus recubrimientos, por J. PÉREZ ARANTEGUI, E. RUIZ y J. R. CASTILLO	43
Caracterización química de cubiertas blancas opacas musulmanas de la Valencia medieval (ss. X-XI), por J. COLL P. BOTELLA, M. T. LARENA, M. T. DOMÉNECH y E. AURA	49
Primeros resultados de la caracterización arqueométrica de la cerámica numantina del s. I a C., por M. GARCÍA HERAS y R. FERNÁNDEZ RUIZ	59
Caracterización de cerámicas comunes romanas de Extremadura, por J. A. ESTÉVEZ MORALES	67
Primeros resultados del estudio arqueométrico de un alfar de época romana en Zaragoza, por M. C. AGUAROD OTAL, M. P. LAPUENTE MERCADAL, J. A. MÍNGUEZ MORALES y J. PÉREZ ARANTEGUI	77
Cerámicas del Calcolítico y su entorno (Llano de la Virgen, Málaga, España), por J. BARRIOS, J. FERNÁNDEZ, J. MORENO y L. MONTEALEGRE	89
Estudio arqueométrico de cerámicas ibéricas del yacimiento del Torrelló de Almassora (Castellón), por F. FERNANDES, M. M. JORDÁN, J. D. MARTÍN, T. SANFELIU y G. CLAUSELL	99
Cerámica común romana del yacimiento de Loma de Ceres (Granada, España). Primeros datos sobre tecnología y procedencia de materiales, por S. NOGUERAS VEGA, J. DURÁN SUÁREZ, C. CARDELL FERNÁNDEZ, M. A. PÉREZ CRUZ, A. SÁNCHEZ NAVAS, N. MARÍN DÍAZ y J. RODRÍGUEZ GORDILLO	109
Caracterización de cerámicas vidriadas romanas mediante el estudio de la composición química del cuerpo cerámico con redes neuronales artificiales, por A. CASTRO, J. PINO, A. LÓPEZ MOLINERO, J. PÉREZ, B. MARTÍN y N. MEDRANO	117

Estudio de una selección de ladrillos y tégulas del yacimiento de Urso (Sevilla), por V. FLORES ALÉS, A. GUIRAUM PÉREZ y J. BARRIOS SEVILLA	125
Caracterización de cerámicas y materiales constructivos de los hornos de la plaza de Lasso (Carmona, Sevilla), por A. POLVORINOS DEL RÍO y A. GÓMEZ-MORÓN	131
Characterization of the ceramics obtained from antic amphora workshops in sinop region, por S. DEMİRCİ, A. AKIN AKYOL y A. TÜRKMENÖĞLU	141
Estudio de revestimientos cerámicos en edificaciones en la ciudad de Sevilla, por A. M. ^a HERRERA SAAVEDRA y V. FLORES ALÉS	149
Adaptación de un digitalizador de películas fotográficas para el análisis morfométrico de cerámicas arqueológicas, por A. POLVORINOS DEL RÍO y M. A. GÓMEZ MORÓN	153
Arqueometría y etnoarqueología en la interfase: producción cerámica en los bosques de Ituri, Zaire, por J. MERCADER, M. GARCÍA HERAS e I. J. GONZÁLEZ ÁLVAREZ	161
Ethnoarchaeology in Sahmuratli village by Kerkenes excavations in Turkey, por B. ERGENEKON	169
Análisis de muestras arqueometalúrgicas mediante técnicas nucleares, por M. FERNÁNDEZ, M. A. RESPALDIZA, M. HUNT, V. HURTADO, M. F. DA SILVA, B. GÓMEZ-TUBÍO	177
Estudio analítico y metalográfico de sierras metálicas de los inicios de la metalurgia en Andalucía Occidental, por M. J. FELIU, M. LAZARICH y J. MARTÍN CALLEJA	185
Análisis gravimétrico y por fluorescencia de Rayos-X de ornamentos de plata procedentes de poblados ibéricos valencianos (ss. IV-III a.C.), por J. L. FERRERO, CLODOALDO ROLDÁN y C. MATA	193
Aleaciones de bronce en el centro del Valle del Duero durante la II Edad del Hierro: primera caracterización mediante FRX-EDS, por F. J. SARRABIA HERRERO y J. MARTÍN GIL	201
Análisis de monedas y vasijas romanas de plata realizados mediante EDXRF y Transmisión Gamma, por G. CONDE, M. D. YNSA, B. GÓMEZ-TUBÍO, M. A. RESPALDIZA y F. FERNÁNDEZ	209
Caracterización de las escorias de hierro y su interpretación en el contexto histórico-arqueológico, por J. SIMÓN ARIAS, M. MARSAL ASTORT J. PÉREZ SUÑÉ y J. GÓMEZ SÁNCHEZ	217
Análisis no destructivo en piezas metálicas de interés artístico, por M. CARMEN EDREIRA SÁNCHEZ, M. J. FELIU ORTEGA, y J. MARTÍN CALLEJA	229

Phosphorus in the «Bloomery iron» process, por A. VIZCAÍNO, I. J. MCCOLM y J. G. McDONNELL	237
La base de datos AU para el estudio de los ámbitos tecnológicos en Prehistoria, por A. PEREA y O. GARCÍA VUELTA	245
Proyecto AU para el estudio de los ámbitos tecnológicos en Prehistoria, por A. PEREA y O. GARCÍA VUELTA	251
Estudio mediante fluorescencia de Rayos-X de pigmentos amarillos en retablos valencianos de los siglos XV y XVI, por J. L. FERRERO, C. ROLDÁN, E. NAVARRO, M. RODRÍGUEZ, M. ARDID, M. MARZAL, J. ALMIRANTE y P. INEBA	257
Caracterización químico-física de las pinturas murales de la Casa del Mitreo de la ciudad de Mérida (Badajoz), por M. C. EDREIRA SÁNCHEZ, M. J. FELIU ORTEGA y J. MARTÍN CALLEJA	263
Identificación por fluorescencia de Rayos-X de alteraciones en muestras de papel, por J. L. FERRERO, C. ROLDÁN y J. VERGARA	273
Problemas petrográficos en la identificación de mármoles clásicos: diferenciación de Carrara y Borba, por M. P. LAPUENTE MERCADAL	279
Origen de la obsidiana de dos sitios de la cultura La Tolita-Tumaco (Ecuador) determinado mediante caracterización doble por análisis pìxe y datación por trazas de fisión, por E. BARTOLOMÉ, L. BELLOT-GURLET, O. DORIGHEL G. POUPEAU, E. LABRIN y A. YÉPEZ	289
Caracterización petrográfica de materiales silíceos. El ejemplo de nivel II de Cova del Parco (Alós de Balaguer, La Noguera, Lleida), por X. MANGADO, J. M.ª FULLOLA y L. ROSELL	301
Transporte de alimentos y ánforas romanas. La pez y sus componentes a través de análisis orgánicos, por M.ª D. PETIT DOMÍNGUEZ y J. MARTÍNEZ MAGANTO	309
Identificación de grasas y ésteres de ceras en recipientes arqueológicos, por M.ª L. CAÑABATE GUERRERO y A. SÁNCHEZ VIZCAÍNO	319
Contribución de la datación por radiocarbono al establecimiento de la cronología absoluta de la prehistoria menorquina, por J. S. MESTRES I TORRES y J. C. DE NICOLÁS I MASCARÓ	327
Identificación de galerías en registros de geo-radar. Ejemplos de interés arqueológico, por H. LORENZO, V. CUÉLLAR y M. C. HERNÁNDEZ	343
Prospección geofísica con geo-radar en el entorno de las «Ruinas del Consuelo» (Tamohí-San Luis de Potosí-México), por D. IBÁÑEZ, H. LORENZO y R. ÁLVAREZ	351
El uso complementario de la resistividad y la prospección magnética en Arqueología, por C. CARRERAS MONFORT y DAVID JORDAN	361

ANTONIO SERRANO MONTALVO



No puedo decir que conozca bien la vida de Antonio Serrano Montalvo, que fue muy rica. Pero sobre tres aspectos de la misma que sí compartí, largamente algunos, puedo emitir juicio con fundamento. Fue, en el seno de un grupo muy trabado de matrimonios que mantuvo trato fraterno durante decenios, gran amigo de mis padres y asiduo en mi casa, con Marina, su esposa, desde mi niñez; en la Institución «Fernando el Católico», el ánima invisible y discreta desde el primer día de su existencia; y en mi Facultad, profesor en un, para mí, inolvidable curso general de Historia de España que duró el año académico entero. Otros empleos públicos y docentes que desempeñó es de suponer que estuviesen marcados por los mismos rasgos que imprimió a éstos de los que puedo dar testimonio.

De todos ellos subrayo, recuerdo y recordaré, más que ninguno, su valor como amigo. De mis padres, primero, y mío desde que tengo memoria, era irreprochable, de una pieza, incondicional, generoso, ninguna de sus apariencias adustas, tan frecuentes (era un gran tímido) como efímeras, podían ocultar ni reprimir su ternura especial y, menos, para con los amigos del círculo íntimo. Era la suya amistad abnegada, con llano y natural desprendimiento, que, personalmente, me conmovió a menudo. Y no me faltaron ocasiones para admirarla. Le causaba sonrojo que se advirtiese esta entrega suya, que prefería ocultar con ausencias y silencios. He encontrado, en mis años de vida que me han deparado trato con infinidad de personas, muy pocos casos de tan perfecta excelencia en la amistad, valor impagable, inestimable tesoro de quien lo recibe.

Como secretario de la Institución fue su médula. Cambió ésta, y cambiará de presidentes y directores, de titulares de sus cátedras y revistas; durante cincuenta y seis años, que se van a cumplir, ha navegado la entidad más o menos adaptada a tales o cuales circunstancias, sujeta estatutariamente al poder político, nacido el que había en 1943 de una guerra civil con vencedores y vencidos y el existente desde 1978 de un sistema constitucional. De esos cincuenta y seis años, cuarenta y tres tuvieron en la entidad a Antonio Serrano como puntal y referente fijo. La parte más sólidamente académica de su ediciones y congresos, la continuidad de las revistas especializadas, la resistencia pasiva (que podía ser berroqueña) al vaivén ocasional o a la moda chillona y un celo que a más de uno pareció excesivo por la pulcritud y la austeridad a un tiempo, tales fueron, a mi juicio, sus aportaciones más perdurables. Entré a trabajar en la Institución en 1964, estudiante todavía. Hace, pues, treinta y cinco años. He sido en ella cuanto se puede ser: secretario de una de sus revistas, director de una sección, consejero y director. No volveremos a ver por allí a nadie que se le parezca. Porque nadie, aunque reúna sus virtudes de formación, lealtad, dedicación y sentido del servicio tendrá, además, la condición de partero que Antonio tuvo: vio nacer a la entidad y fue, en muchos sentidos, su ayo y tutor primero, encargado de nutirla y hacerla andar cada mañana.

Mi profesor de Historia General de España fue puntual, ordenado, actualizado y grave. En ese curso hice mis primeras fichas bibliográficas. Aprendía a citar bien y a buscar información pro mi cuenta. Descubrí, por ejemplo, el «Bulletin Hispanique» y «Annales» (por entonces, no leía inglés) y hube de dirigir a seis condiscípulos en un trabajo de ocho meses sobre historiografía dieciochesca. Fue mi primera tarea de iniciación a la investigación, no un mero resumen de saberes ajenos. Un magisterio así, a los dieciocho años, no se olvida jamás. Nos atendió siempre con suma exigencia: es decir, que nos dio más y mejor de lo que pedíamos y reclamó de nosotros lo que podíamos dar y no sólo lo que estábamos dispuestos a poner de nuestra parte. Eran años difíciles para algunas lecturas: pero, como a otros de mi curso, particularmente interesados en su asignatura, no me faltaron.

En estos últimos años ha padecido mucho, porque el mal que le afectaba —no a la inteligencia— le imponía graves e irritantes limitaciones. Tenía, empero,

el amor de los suyos, a medida del que merecía, muy grande. La Institución «Fernando el Católico» (colaboradores académicos y trabajadores administrativos) estuvo siempre atenta a su devenir personal. Quiso, no hace tantos meses, y tras sopesarlo bastante, ofrecerle un testimonio de aprecio real y un bálsamo estimulante para sus amarguras: le obligó con afectuosa insolencia a concluir la edición, voluminosa, del primer censo estadístico moderno de Aragón, ordenado por Fernando el Católico en 1495. Antonio había empezado a trabajarlo hacía más de veinte años. Había que editarlo en dos tomos. El segundo volumen salió de prensas en 1996 y le guardamos un número redondo de catálogo: el 1.700. En este mes de abril, que se ha llevado a Antonio de entre nosotros, la Institución va a presentar su título número 2.000. Lo hará en su honor: E invitamos a los aragoneses a esta ofrenda de gratitud.

GUILLERMO FATÁS

Director de la Institución «Fernando el Católico»

ARTÍCULOS

LA TECNOLOGÍA DE LA CERÁMICA ISLÁMICA Y MUDEJAR

por

J. MOLERA¹, T. PRADELL², L. MERINO¹, M. GARCÍA-VALLÉS¹,
J. GARCÍA-ORELLANA³, N. SALVADÓ⁴ y M. VENDRELL-SAZ¹

ABSTRACT

This paper analyzes the ceramic production of several workshops and productive areas of islamic tradition in Spain (islamic sensu strictu and hispano-moresque —mudejar—) in order to show the evolution of the productive techniques before and after the christian invasion of Jaume I in the arabian territories. The studies sites are: Murcia (islamic, 10th cent.), Balaguer (islamic, 11th cent.), Mallorca (a local islamic production of the 11th century), Denia (islamic, 13th century), Paterna (mudejar, 13th and 14th to 15th centuries), Catalonia (15th to 16th cent.) and Granada (islamic 14-15th century —nasri production—).

On the basis of the analytical result several conclusions are proposed: i) all the workshops (islamic and mudejar) produced different pastes according the use of the pieces; ii) all the glazes are $\text{SiO}_2\text{-PbO}$ glasses with some other elements (under 5%) partially from the diffusion of the paste during firing; iii) the transparent glazes are produced in a double firing process in the early islamic world (Murcia 10th cent.) while they are made in a single firing in later workshops and the colours are produced by Fe (yellow), Cu (green) and Mn (brown) in the islamic productions but only iron (Fe^{+2} or Fe^{+3}) in the mudejar workshops; iv) the opacified glazes are in all the cases tin glazes and the differences arise from the size and distribution of the SnO_2 crystals in the glass, being homogeneous in the islamic productions and mudejar ones who used frits to obtain them.

1. Dept. Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals. Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franquès, s/n, 08028 Barcelona.

2. Dept. Física. Escola Enginyers Tècnics Agrícoles. C/ Urgell, 180, 08026 Barcelona.

3. Dept. Física de Radiacions. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra.

4. Dept. d'Enginyeria Química. EUPVG, UPC. Avg. Víctor Balaguer, s/n. 08800 Vilanova i la Geltrú.

From these data, the continuity of the islamic tradition after the christian conquest has been demonstrated. However, there is some evolution in the productive processes which tend to some kind of industrialization by avoiding some steps in the productive sequence which did not contribute to a highest quality product.

INTRODUCCIÓN

La técnica de barnizar la cerámica surgió a raíz del descubrimiento del vidrio, que tuvo lugar en Mesopotamia en el siglo V a.C. (Tite, 1987; Kingery y Vandiver, 1986). De hecho los verdaderos vidrios no se obtuvieron hasta el 2000 a.C, mezclando arena de cuarzo y fundentes alcalinos que se trabajaban una vez enfriados. Poco antes del 1000 a.C el vidrio ya se trabajó en caliente y se coloreó con Cu y Co para obtener vidrios verdes y azules, respectivamente. En esta época se empezó a añadir pequeñas cantidades de plomo a la receta del vidrio para darle más brillo (mayor índice de refracción), menor dureza para ser trabajado en crudo y para que tuviese menor contracción en el enfriamiento. Paralelamente al uso de plomo en los vidrios aparecieron las primeras cerámicas con cubiertas vítreas, posiblemente porque el plomo favorece una contracción similar entre la pieza y el barniz. En la **tabla 1** se muestra la composición de una receta de barniz cerámico que se encontró en el norte de Irak 1000 a.C (Cooper, 1988):

Tabla 1. Composición de un barniz cerámico del norte de Irak 1000 a.C.
(Cooper, 1988)

COMPOSICIÓN	PARTES
frita de vidrio alcalina	243
plomo	40
cobre	58
sal común	3
cal	5

Durante muchos siglos en el próximo Oriente se emplearon barnices alcalinos en mayor cantidad que los plumbíferos, mientras que en el Imperio Romano occidental la cerámica barnizada, no muy común comparada con la *terra sigillata*, se hacía con barnices ricos en plomo, alrededor del 70-80%, según Pérez Arantegui *et al* (1995).

Tradicionalmente se ha pensado que la técnica de opacificar los vidriados surgió con la voluntad de imitar a la proto-porcelana de China, pero diversos estudios (Mason, 1994; Kleinmann, 1986) muestran que el origen de la opacificación de los vidrios es muy antigua y que surgió en Irak 500 a.C. Estos primeros vidriados opacos (esmaltes) no contenían estaño, sino otras fases cris-

talinas como granos de cuarzo, feldespatos no disueltos o cristales de wollastonita, anortita o diópsido, dispersos en el vidrio. Estos esmaltes se decoraban con reflejos metálicos, en azul y en verde y morado. El inicio de los esmaltes opacificados con estaño se sitúa a Irak en la primera mitad del siglo VIII. Según Caiger Smith (1973) y Mason y Tite (1997) no son esmaltes sino unas capas enriquecidas en estaño sobre las cuales aplicaban un barniz transparente (una especie de engalba de estaño). En la segunda mitad del siglo VIII se encuentran ya los primeros esmaltes con estaño, son vidriados alcalinos con una concentración en casiterita relativamente baja (SnO_2 en peso 4%). A lo largo del siglo IX los vidriados presentan mayor contenido de plomo y se emplean pastas más cálcicas. En el año 975 los ceramistas de Basra y posiblemente de otros centros de Irak se desplazaron hacia Egipto y se establecieron en Fustat, el antiguo Cairo, donde importaron la técnica de los esmaltes opacificados con estaño y de los reflejos metálicos. Al principio utilizaban esmaltes con alto contenido en estaño (6-12% SnO_2) y entre 20-30% de PbO sobre pastas de piedra (stonepastes) que son una mezcla de arena de cuarzo 80%, arcilla 10% y vidrio 10%. Lentamente fueron introduciendo más plomo en los esmaltes y menor contenido en Sn (25-35% PbO y 5-10% Sn). En el siglo XI dejan de utilizar las pastas de piedra y se sustituyen por pastas arcillosas cálcicas. Los esmaltes son mixtos (14% PbO -9% Na) y no se usa estaño sino que la opacidad se produce por los cristales de wollastonita generados en la interfase.

Según Mason y Tite (1994) y Caiger Smith (1985), en 1075 ceramistas de Fustat se trasladaron a la Península Ibérica para producir reflejo metálico. Pero con la conquista musulmana a inicios del siglo VIII ya se había introducido la técnica y el estilo de producción de la cerámica islámica en la península. Primeramente se importaban las piezas de Egipto y Persia, pero luego rápidamente surgieron centros de fabricación de cerámica barnizada y esmaltada en las proximidades del califato de Córdoba, Medina-al Zahara y Elvira. La cerámica verde y morada de época Califal de Córdoba son producciones locales como ha demostrado Escudero (1990); los esmaltes tienen una proporción de plomo entre el 20 y el 40% y alrededor del 15% de estaño.

Durante el período de los Reinos Taifa (1031-1268), se observa una gran influencia de los almorávides y de los almohades en el estilo decorativo y formal de las piezas, la mayoría de las cuales están decoradas a cuerda seca parcial (Pérez-Arantegui *et al.* 1996). En el período nazarí (1238-1492) la cerámica islámica se decoraba en cuerda seca total, mientras que en los talleres mudéjares contemporáneos del siglo XIII, la cerámica barnizada es monocroma y la decorada en verde y morado sobre esmalte de estaño.

La decoración en verde y morado a base de Cu y Mn apareció en el Al-Andalus en el período Califal, pero ya se observaba en el norte de África en el siglo X y se aplicaba a todo tipo de cerámica de servicio de mesa, platos, ataífores, jofainas, jarras, jarros, etc. Según Rosselló Bordoy (1987) es indudable la conexión con piezas decoradas en cuerda seca, simplificando el proceso. Se ha encontrado gran cantidad de cerámica verde y morada en Sevilla, Toledo, Extremadura, la Meseta central, Murcia, Zaragoza, Lleida y Balaguer, que

permiten apuntar hacia una difusión generalizada de este tipo de decoración que abarca todo el ámbito andaluz entre los siglos X-XI. Después del siglo XI la técnica decae y casi desaparece en el siglo XII. Reaparece tímidamente en el siglo XIII bajo dominio musulmán y se traspa la técnica al mundo cristiano a finales del siglo XIII, en Paterna, Teruel y Cataluña, entre otros. Con la fuerte moda del azul, los reflejos y la policromía italiana, el verde y morado desaparecen hasta el siglo XVII que se vuelve a utilizar en Teruel, Lleida, Mallorca etc, y pervive en diferentes sitios hasta las actuales producciones para los turistas.

MATERIALES ESTUDIADOS

Se han estudiado las producciones de alfares islámicos de Murcia, Balaguer, Denia, y alfares mudéjares de Paterna, así como producciones encontradas en excavaciones de distintas ciudades como Palma de Mallorca, Castelldefels y Cardona.

La metodología de estudio de las pastas consta del análisis químico por Fluorescencia de rayos X (FRX), análisis mineralógico mediante difracción de rayos X (DRX) y análisis petrológico mediante la observación de láminas delgadas con el microscopio óptico. El estudio de los vidriados (barnices y esmaltes) se ha realizado mediante la observación al microscopio óptico y microscopio electrónico de barrido de secciones pulidas transversales del vidriado, las cuales han sido analizadas con una microsonda de dispersión de longitudes de onda bajo las siguientes condiciones: 15Kv y 50nA. La cantidad de estaño se ha medido por FRX, obteniendo 0.2 g de polvo del vidrio con una pequeña muela de diamante y por el método de la perla. Se han hecho los patrones de SnO₂, PbO y SiO₂ para la ocasión.

Un alfar islámico de Murcia siglo X: el alfar de San Nicolás

El alfar de San Nicolás forma parte de un barrio alfarero (Muñoz, 1993) y fue descubierto durante las excavaciones de un cementerio islámico en la calle San Nicolás de Murcia. Según Navarro Palazón (1990) se pueden distinguir dos etapas de funcionamiento del alfar: el alfar antiguo que habría funcionado durante el siglo X y tal vez finales del siglo IX; y el alfar moderno que habría funcionado hasta el siglo XI. En los niveles de alfar moderno se encuentran restos arquitectónicos del mismo, los cuales están profundamente afectados por los cimientos del cementerio islámico del siglo XI.

El material analizado se ha encontrado en las bolsas de cenizas que corresponden a los niveles de ocupación del alfar antiguo, en los que se han hallado numerosos fragmentos de cerámicas y útiles de alfar (atífls, barras, clavos, etc.), así como trozos de arcilla cocidos sin forma y piezas defectuosas. En el alfar se producía todo tipo de piezas de uso doméstico y culinario: marmitas, jofainas y ataífores barnizados y esmaltados, candiles de pico y candiles de cazoleta, todo tipo de jarras y jarritas, etc.

Los resultados analíticos (tabla 2) indican que en el taller se empleaban dos tipos de pastas según la utilidad de la pieza: arcillas ricas en carbonatos cálcicos para la fabricación de vajillas y todo tipo de piezas de uso doméstico, y por otro lado arcillas con contenidos muy bajos en carbonatos y con abundante desgrasante para la fabricación de marmitas y ollas. Según Navarro Palazón (1986), las marmitas no iban destinadas al comercio sino que se fabricaban para la elaboración de las fritas. En cuanto a la cerámica destinada al comercio, se observan ciertas diferencias entre piezas de la misma tipología, lo que parece corroborar que hubieran existido diferentes etapas de funcionamiento del alfar como indican los restos arqueológicos (Navarro Palazón, 1990).

Un alfar islámico de Balaguer siglo XI

Balaguer fue una importante ciudad islámica hasta el año 1105, momento en que se abandonó de manera violenta y sus habitantes tuvieron que emigrar hacia otras ciudades. Durante un largo período la ciudad quedó desierta y no se volvió a ocupar nunca más la parte de la Medina islámica. En ella se han excavado diferentes restos de alfares islámicos dedicados a producciones locales (Giralt, 1983). Se han encontrado restos de hornos circulares y barras para la cocción de las piezas, así como numerosos fragmentos de ollas y cazuelas, lebrillos, morteros, platos, vasos, tinajas, jarras, etc., la mayoría de las cuales están sin barnizar y aparecen fragmentos de jarras y platos con barniz verde y barniz amarillento. Los análisis de las pastas (tabla 2) indican un esquema de producción similar al del alfar de San Nicolás: uso de pastas cálcicas para la vajilla de mesa y piezas diversas, y uso de pastas sin apenas carbonato cálcico para las ollas y cazuelas.

Producciones locales de la Taifa de Mallorca siglo XI

En excavaciones urbanas de Palma de Mallorca se han encontrado desechos de cocción en pozos ciegos, pero no se han hallado los restos de alfar (Rosselló-Bordoy, comunicación personal). De la producción local del siglo XI, se han analizado diversos fragmentos de cerámica esmaltada y cerámica sin barnizar. Por la escasez de los fragmentos no se pueden sacar conclusiones sobre el empleo de diversas pastas y arcillas en el alfar (tabla 2), pero son interesantes los resultados de los análisis de los vidriados que se presentan en la tabla 3.

Un alfar islámico Denia siglo XIII: el alfar de la calle Teulada

La evidencia arqueológica del núcleo urbano de la ciudad de Denia como centro de producción alfarera islámica ha sido estudiada por el Dr. Gisbert durante estos últimos años (Gisbert, 1992). Se han hallado restos de una escombrera de alfar en las calles Teulada y Verger con los típicos útiles de alfar (barras de horno, atifles, ganchos) y desechos de cocción, así como fragmentos de ataifores y jofainas con barniz de color melado decorado a trazos con

MnO. Son características también las piezas vidriadas y estampilladas. Se han datado en el siglo XI, cronología Taifa de Denia, pero continúan produciéndose durante la época almorávide-almohade con una notable diversificación y enriquecimiento de los motivos de las estampillas y la utilización de las mismas en el repertorio decorativo de cerámicas comunes con decoración en relieve (tinajas y alcadafes). El alfar de Denia quedó abandonado después de la conquista de Jaume I, sin que volvieran a utilizarse las instalaciones del mismo en etapas posteriores.

Los análisis de las pastas del alfar islámico de la C/. Teulada (tabla 2) indican el uso de tres tipos distintos de arcillas, algunas de las cuales son mezclas de dos tipos de arcillas como se observa en lámina delgada. Las ollas tienen una composición pobre en CaO, las tinajas y grandes contenedores tienen un contenido en CaO del 12% y la cerámica vidriada el contenido en CaO de las pastas es del 20%. También es diferente la textura de las pastas, siendo más depuradas las pastas para vajilla que la de los contenedores u ollas.

Dos alfares mudéjares de Paterna siglo XIII y siglo XIV-XV

En los últimos quince años se han realizado numerosas excavaciones en los alrededores y en el centro de la ciudad de Paterna que han revelado su gran importancia como centro productor de cerámica desde el siglo XIII hasta el siglo XVI, pero seguramente ya era un importante centro productor en el siglo XII (Mesquida, 1989).

En los exteriores de la ciudad se han encontrado los restos de alfares de los siglos XIV-XV, con sus hornos correspondientes (Amigues y Mesquida, 1987), que en su momento se denominaban «Ollerías Mayores» y que tenían una producción muy amplia de cerámica de cocina, vajilla y cerámica de uso doméstico. Las vajillas se fabricaban en dos calidades: una producción de lujo esmaltada y decorada en azul y una producción de menor categoría que iba barnizada con un vidriado melado (Mesquida, 1987). Se han encontrado piezas crudas dentro de unos hoyos llenos de arcilla al lado de los tornos que han permitido estudiar la composición original de las arcillas, así como unos hoyos llenos de margas y otros llenos de cal (Molera *et al.*, 1996).

Por debajo de los alfares de los siglos XIV-XV, se encuentran los restos de testares, hornos y estructuras de talleres del siglo XIII. Durante este siglo también se producía una gran cantidad de cerámica en diferentes calidades: la producción más lujosa corresponde a la loza azul y dorada, una producción de lujo pero de menor calidad era la cerámica decorada en verde y morado, y la cerámica de menor categoría era la vajilla barnizada con vidriado amarillento o verde (Amigues y Mesquida, 1993). Finalmente, también se han estudiado unos pocos fragmentos de cerámicas del siglo XII de alfares islámicos de Paterna.

Existe una interrupción clara entre el alfar del siglo XIII y el de los siglos XIV-XV, tanto en estructuras del taller (distribución espacial de los tornos, hornos, testares, etc.), como en la producción: en el siglo XIII se fabrican cerámicas decoradas en verde y manganeso mientras que en el siglo XIV se decoran

en azul: en el s.XIII la cerámica con reflejos tiene un tono dorado en tanto que en los siglos posteriores el reflejo toma colores más cobrizos: en el siglo XIII la cerámica común se barniza en tonos verdes y amarillos, cuando en los siglos XIV-XV el barniz es melado y finalmente, en el siglo XIII las ollas mayoritariamente presentan pastas grises o negras sin barnizar, en cambio en los alfares posteriores fabricaban ollas con barniz melado en el interior (Amigues y Mesquida, 1993).

Al igual que en los alfares anteriores, en Paterna se empleaban arcillas no cálcicas para las ollas y otro tipo de arcillas más cálcicas para el resto de las producciones. El análisis de las pastas cerámicas (tabla 2) revela que del siglo XIII al siglo XIV se empleó el mismo tipo de arcilla para las ollas y cazuelas, al que le añadían un 20% de arena de cuarzo y feldespatos como desgrasante (Molera *et al.*, 1994). También se empleó un mismo tipo de arcilla cálcica para la fabricación de cerámica sin barniz (tinajas, lebrillos, etc), que era la misma arcilla que usaban para la cerámica verde y morada. Empleaban una arcilla más cálcica (20% CaO) para fabricar la cerámica esmaltada decorada en azul con o sin reflejos metálicos, que a lo largo de los siglos XIV-XV fue incrementado el contenido en CaO. Donde existe una clara diferencia en el tipo de arcillas usadas es en la producción de cerámica común barnizada: en el siglo XIII usaban arcillas con bajo contenido en CaO (6%) mitad illíticas y mitad caolíníticas, con algo de materia orgánica y de textura similar a las pastas más cálcicas. En cambio en los siglos XIV-XV empleaban otro tipo de arcilla menos cálcica (5%), sin restos que indiquen la presencia de materia orgánica, con mayor contenido en Fe, con la que consiguieron cerámicas de pastas rojizas sobre las cuales el barniz transparente de plomo tomaba el típico color melado o rojizo más acorde con el gusto estético de la época (Molera *et al.*, 1997).

Producciones del área catalana siglos XIV-XV

En Barcelona no se han encontrado restos de alfares dentro de la ciudad, tal vez por la gran reurbanización de la ciudad antigua a lo largo de los siglos. Hay documentos que atestiguan la existencia de alfares, así como la toponimia de la calle «Escudellers». Por ello se han estudiado fragmentos de piezas encontradas en la excavación del Castillo de Castelldefels (López Mullor, 1997), ciudad próxima a Barcelona, y producciones atribuidas a la ciudad de Manresa, encontradas en el Castillo de Cardona (López Mullor *et al.*, 1997).

Por otro lado, se han estudiado también diversas producciones catalanas encontradas en la isla de Mallorca. Después de la conquista cristiana sólo una parte de los musulmanes se quedaron en la isla, y la producción artesanal andalusina sufrió un proceso de feudalización. Desde la conquista, en 1228, hasta 1280 la producción cerámica estuvo en manos cristianas, pero los operarios eran esclavos musulmanes de la conquista que no tenían suficiente potencial económico para liberarse pero que tenían un gran conocimiento de las técnicas (Rosselló Bordoy, 1987). Parece ser que los alfareros mallorquines se especializaron en obra común, como las jarras y tinajas, pero no en la cerámica esmaltada. En cambio, hubo un fuerte comercio de cerámica esmaltada proceden-

te de Valencia y Cataluña, que se exportaba hacia Francia e Italia, dando lugar a que este tipo de cerámica se denominara *maiolica*, haciendo referencia a su origen de la isla de Mallorca. En diversas excavaciones en Palma de Mallorca se han encontrado numerosos fragmentos de cerámica esmaltada de origen catalán, que han sido analizados y comparados con las cerámicas de Cardona y Castelldefels.

El resultado de los análisis (**tabla 2**) no indican un mismo origen de las cerámicas, pero sí permite obtener una visión de la tecnología cerámica de Cataluña durante los siglos XIV-XV. Las pastas cerámicas siguen siendo pastas ricas en carbonato cálcico, mientras que existen diferencias en la composición de los esmaltes respecto a los islámicos y mudéjares de Paterna, como se expone a continuación.

BARNICES

Los barnices de plomo medievales son vidrios de SiO_2 y PbO con contenidos inferiores al 5% en Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , CaO y Fe_2O_3 . El contenido en SiO_2 varía entre el 35-30% y el contenido en PbO entre el 50-58%. Las diferencias composicionales no están entre estos dos elementos mayoritarios, sino en la cantidad de los elementos minoritarios como Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , CaO y Fe_2O_3 , cuyas concentraciones se ven afectadas por el procedimiento de cocción (simple o doble cocción y la temperatura-tiempo de cocción) así como por la composición de la pasta (**tabla 3**).

Para entender estas diferencias se han realizado una serie de experimentos y recreaciones de barnices en el laboratorio (Molera, 1996) que han permitido cuantificar ciertos procedimientos o técnicas en una serie de características de las cerámicas.

En primer lugar, se ha detectado un alto grado de reacción en la zona de contacto pasta vidrio durante la cocción. En esta zona de interfase hay una digestión de la pasta y fusión de la misma que conlleva un gradiente químico a lo largo del perfil transversal del barniz. Las recreaciones a diferentes temperaturas de cocción de un vidrio de composición 75-25% de PbO-SiO_2 , y enfriado en tiempos diferentes (enfriamiento súbito a la máxima temperatura introduciendo la probeta en un recipiente lleno de agua y enfriamiento controlado con diferentes rampas, desde 8 horas hasta 2 días), han permitido observar el grado de difusión de elementos de la pasta hasta la superficie del vidriado. Los perfiles de difusión han sido ajustados mediante una ecuación exponencial (Kinery, 1976) y el resultado es que para los grosores de un barniz normal (entre 100 y 200 micras) y con los tiempos de enfriamiento largos de los hornos de leña (por encima de las 8 horas), se llega a una homogeneización de la composición del vidrio y no se detecta la difusión, excepto en algunos casos de barnices de gran espesor.

En segundo lugar, en la zona de interfase se observa una fuerte reacción entre la pasta y el vidrio que aumenta en pasta cruda y es mucho menor en pasta previamente cocida. El grado de reacción barniz-pasta es mucho mayor

en monococción que en bicocción (**fig. 1-2**). El grado de reacción se puede estimar en función de la cantidad de fases cristalinas que hay en la zona de interfase. Interfases de espesores inferiores a las 5-10 micras indican un proceso de doble cocción, mientras que interfases de espesores de 30-40 micras son indicativas de una sola cocción (Molera 1996, Tite *et al.*, 1998). En las cerámicas con barnices de PbO, los cristales que se forman en la interfase son algún término de una hipotética solución sólida entre un feldespató de plomo y uno potásico (sanidina) —**fig. 1**— (Molera *et al.*, 1993; Raffaillac *et al.*, 1995).

La observación del grosor de la interfase en el microscopio óptico o electrónico permite reconocer los barnices aplicados a monococción y los aplicados a doble cocción. De este modo se ha comprobado que los barnices islámicos del siglo X de Murcia (San Nicolás) y los de Balaguer del siglo XI son todos aplicados en la segunda cocción, mientras que los barnices islámicos de Denia del siglo XIII se fabricaban a monococción. Las producciones mudéjares de Paterna también son realizadas en una sola cocción. Así pues, parece ser que la técnica evolucionó desde el siglo X hasta el siglo XIII hacia una simplificación del proceso, una sola cocción en vez de dos, con lo que obtenían un mayor rendimiento de la producción.

La cocción simple o monococción tiene una serie de ventajas más allá del rendimiento económico. En primer lugar hay una mayor difusión de elementos de la pasta en el barniz, y elementos como el Al_2O_3 se incorporan en el barniz actuando de reguladores y estabilizantes muy beneficiosos en los vidrios de $\text{SiO}_2\text{-PbO}$. En monococción la cantidad de Al_2O_3 que difunde de la pasta hacia un vidrio 70%PbO-30% SiO_2 es del 5%, cantidad óptima para actuar de estabilizante, cantidades mayores actuarían como refractario o antifundente (Geller y Bunting, 1943). En las cerámicas a bicocción, la cantidad de Al_2O_3 no supera el 3.5% y en muchos casos es tan sólo del 1.5%. En segundo lugar, la monococción genera un mayor desarrollo de cristales en la interfase que ayuda a mejorar el agarre del barniz a la pasta. Finalmente, la cocción simultánea de arcilla y barniz puede dar lugar a barnices de color verde únicamente por la presencia de Fe^{2+} . Las piezas tienen que estar barnizadas completamente (interior y exterior de las piezas) con un barniz de plomo normal. La pasta cerámica tiene que tener Fe, un cierto contenido en materia orgánica y carbonato cálcico (> 5% en CaO). Bajo estas condiciones, bastante comunes en cerámica medieval, cuando se cuece la arcilla junto con el barniz se reduce la pasta (se vuelve gris) y difunde Fe^{2+} hacia el barniz coloreándolo de verde (Molera *et al.*, 1997). Cocinando a monococción, la descomposición de la materia orgánica y de los carbonatos produce suficiente CO_2 para producir una reducción en el interior de la pasta. Los gases reductores no pueden escapar porque el barniz a 600 °C ya ha empezado a reblanecerse y ha sellado la porosidad de la pieza. En caso de utilizar la misma pasta, pero con barniz sólo en una cara de la pieza, el color obtenido es amarillento porque por la cara no barnizada se escapan los gases de descomposición sin llegar a provocar la reducción.

Durante el siglo XIII en Paterna se fabricaron numerosas piezas en amarillo y verde, generalmente recipientes contenedores de agua, vino, aceite u

otros líquidos iban barnizadas a doble cara y por lo tanto presentan barniz de color verde, mientras que las escudillas son de color amarillo porque sólo se barnizaban por el interior. En el siglo XIV hay un cambio radical en el color del barniz que se vuelve más rojizo, el famoso color miel o melado. Este cambio de color que seguramente se debió a cambios de gustos estéticos, se obtuvo únicamente cambiando el tipo de pasta, más rica en Fe y menos rica en materia orgánica y carbonatos. Con esta pasta más ferruginosa y con los mismos materiales para el barniz obtuvieron un cambio de color tan marcado entre siglos (Molera *et al.*, 1997).

En cambio los barnices de las vajillas de San Nicolás siempre son de color amarillento y están aplicados a doble cara, pero como ya se ha expuesto anteriormente, están realizados a doble cocción. En este caso, la descomposición de los carbonatos y materia orgánica ya ha tenido lugar antes de la cocción del barniz y no se produce la reducción local de la pasta, por lo tanto no se difunde Fe^{2+} al barniz.

ESMALTES

La opacidad de los esmaltes es debida a la reflexión, refracción y sobre todo dispersión de la luz en las diminutas partículas que actúan de opacificante. Las partículas opacificantes pueden ser de distinta naturaleza (Fernández Navarro, 1985):

1. Emulsión de gotas segregadas por inmiscibilidad líquida,
2. burbujas microscópicas formadas por la oclusión de gases desprendidos en el vidrio fundido,
3. partículas cristalinas de génesis diversa (que se formen durante la fusión o bien que permanezcan insolubles durante la cocción).

Los esmaltes medievales estudiados están opacificados por la existencia de pequeños cristales de casiterita (SnO_2) crecidos dentro del vidrio. El grado de opacidad depende de:

1. El recorrido de la luz y el número de veces que la luz es reflejada en el interior del vidrio. La opacidad aumenta con el número de reflexiones, o sea que es proporcional al número de cristales de casiterita por unidad de volumen.

2. El tamaño de los cristales debe de estar relacionado con las longitudes de onda del espectro visible. La máxima opacidad la consiguen partículas de diámetro entre 50 y 500 nm. Cuando las partículas son de tamaños inferiores a 300 nm favorecen la dispersión de la luz, porque son más pequeñas que las longitudes de onda de la luz visible. La intensidad dispersada está controlada por la ecuación de Rayleigh (Eppler, 1971) por lo que los esmaltes se ven de color azul. Este fenómeno, corriente en esmaltes modernos, no ocurre en los esmaltes de PbO , ya que éste absorbe la emisión en el azul, y por lo tanto los esmaltes se ven blancos.

3. El contacto nítido entre partículas y matriz favorece también la opacidad, mientras que si hay disolución en los contactos disminuye la efectividad. Por eso los cristales crecidos dentro del vidrio son las partículas que dan mayor opacidad, como es el caso de los cristales de casiterita.

4. Otro factor muy importante para la opacidad es la diferencia de índice de refracción entre la matriz vítrea y las fases opacificantes. En la ecuación de Fresnel se puede observar que la reflexión aumenta con la diferencia de índices de refracción entre materiales. En el caso de los esmaltes de plomo ($n=1.60$) la diferencia entre índices respecto a la casiterita ($n=2.1$) es lo suficientemente grande como para ser un buen opacificador.

El tamaño y distribución de los cristales de casiterita parecen estar muy relacionados con la técnica de fabricación del esmalte y su composición. A partir de la observación de secciones transversales de los esmaltes en el microscopio electrónico de barrido, se ha podido medir su tamaño y comprobar el grado de homogeneización a través de análisis de imagen. Los esmaltes islámicos de Murcia (siglo X) tienen una cantidad notable en estaño, alrededor del 10% de SnO_2 , los cristales de casiterita se encuentran uniformemente distribuidos por el vidrio y son de tamaños pequeños, del orden de 200-700 nm. Este tipo de microestructura de los esmaltes con pequeños cristales y una distribución uniforme también se encuentra en esmaltes islámicos de Mallorca y en alfares islámicos del siglo XIII de Denia. Además, estos esmaltes se caracterizan por tener una concentración de PbO más alta que los esmaltes mudéjares como se puede observar en la **fig. 3** y en la **tabla 4**. Los esmaltes nazaríes decorados con reflejos metálicos ya presentan algunas diferencias respecto a los islámicos predecesores, por un lado, el tamaño de los cristales es ligeramente superior, y, por otro lado, se encuentran distribuidos heterogéneamente. Por lo que respecta a los esmaltes mudéjares del siglo XIII de la zona valenciana, los cristales se encuentran homogéneamente distribuidos pero en cambio, su tamaño es mayor que en los islámicos. A partir del siglo XIV, en la misma área, se observa como la distribución de los cristales es más irregular y heterogénea. Las producciones catalanas de los siglos XIV-XV presentan cristales de tamaños entre 600-1200 nm, mal distribuidos en el vidrio como los de Paterna de la misma época.

La distribución homogénea o heterogénea de los cristales de casiterita parece estar íntimamente relacionada con el uso de las fritas. Usando los materiales fritados se aseguraban una distribución uniforme de los cristales de casiterita, pero si no se fritan los materiales la distribución de la casiterita resulta mucho menos homogénea. Se han encontrado restos de fritas de esmaltes en los alfares islámicos de San Nicolás, Denia y el alfar mudéjar de Paterna del siglo XIII, mientras que en alfares posteriores no se han hallado restos de ellas. Ello concuerda con una distribución uniforme de los cristales de los esmaltes islámicos y mudéjares hasta el siglo XIII y distribuciones heterogéneas en los esmaltes posteriores. Aún así, la opacidad final de los esmaltes no se ve tan afectada por la distribución de los cristales como por el grosor y la cantidad de estaño de los mismos, y tal vez por ello los alfareros simplificaron una

vez más el proceso cerámico dejando de fritar los componentes de los esmaltes entre el siglo XIII y el siglo XIV.

En cuanto a las diferencias de tamaño, éstas están relacionadas con las temperaturas de cocción y la composición de los esmaltes. Las cerámicas islámicas primitivas están cocidas a menor temperatura o durante menor tiempo que las producciones mudéjares e islámicas del siglo XIV. A lo largo de los siglos se observa una mejora en la estructura de los hornos y son de mayores dimensiones, por lo tanto, cada vez cocían a mayor temperatura y durante más tiempo, aunque sólo sea por considerar la inercia térmica del horno. Al mismo tiempo se observa un cambio en la composición de los esmaltes cada vez con menor cantidad de PbO (fig. 3).

La mayoría de los esmaltes ricos en PbO (> 57% PbO) se encuentran muy alterados y su aspecto recuerda más un engobe blanco que un material vitrificado, por lo que durante mucho tiempo se ha creído que se trataba realmente de engobes blancos encima de los cuales se decoraba y luego se le daba un baño de barniz transparente. Aunque esta técnica parece haber sido utilizada anteriormente y contemporáneamente en el norte de África, en el momento en que llegan los árabes a la península, la mayoría de cubiertas opacas son esmaltes de estaño. Éste es el caso de los esmaltes del s. X de Murcia (alfar de San Nicolás) que presentan casi todos un aspecto típico de un engobe, pero en realidad son esmaltes muy alterados y semi-desvitrificados.

Finalmente, por lo que respecta a doble o simple cocción, la mayoría de los esmaltes se aplicaban a doble cocción por diferentes motivos. En primer lugar, para ahorrar estaño que era un producto relativamente escaso y caro según los documentos de la época. En segundo lugar, y relacionado directamente con el primero, para no tener que añadir tanto estaño al vidriado utilizaban pastas de colores amarillentos o blanquecinas que fueran más fáciles de opacificar que pastas muy rojizas. Para obtener pastas de tonos claros podían utilizar arcillas caolíníficas libres de óxidos e hidróxidos de Fe, o bien decolorar arcillas ferruginosas con adición de margas, o el empleo directo de arcillas muy cálcicas. Las pastas cálcicas favorecen la formación de los aluminosilicatos del tipo melilita o piroxenos que incorporan Fe y Ca en su estructura, dejando menos Fe libre para formar hematites, que colorea de rojo la cerámica. Además, el uso de pastas cálcicas facilita la adhesión del esmalte, ya que tienen un coeficiente de dilatación similar al del vidriado (Tite *et al.*, 1998).

En el caso de utilizar pastas cálcicas, la monococción de piezas esmaltadas llega a producir una fuerte reacción e interacción entre la pasta y el vidrio debido a la descomposición de los carbonatos a temperaturas similares a la de fusión de los vidriados. El CO₂ que se forma en el interior de la pasta es capaz de reducir el Fe³⁺ a Fe²⁺, tal como pasaba en la cerámica barnizada, pero en este caso la difusión de Fe de la pasta hacia el esmalte altera el color blanco del esmalte hacia colores no deseados (ahumados, grises o negros). Por eso es muy importante que no interfiera el color de la pasta subyacente ni que difundan elementos como el Fe hacia el esmalte. Para ello es imprescindible cocer primero la pasta y luego el esmalte; el uso de pastas cálcicas «obliga» a la

bicocción. Una prueba de ello es el pequeño espesor de la interfase que presentan los esmaltes (5-10 micras), como se puede observar en la **fig. 2**.

Sin embargo, en algunas producciones de Paterna de menor calidad, como son las vajillas decoradas en verde y morado, hay evidencias arqueométricas que parece tratarse de aplicaciones a monococción. Pero en este caso las pastas tienen un contenido en CaO moderado (10%) y sólo tienen esmaltada la cara interior de las escudillas. Son pastas rojizas y el esmalte queda de un color rosado. Dentro del mismo alfar se fabricaban vajillas de mejor calidad decoradas en azul, con pastas de tonos amarillentos y de composiciones mucho más cálcicas. Esta loza azul lleva esmalte por las dos caras y el espesor del esmalte es superior a los esmaltes decorados en verde y morado. La interfase es delgada, lo que contribuye junto con otras evidencias arqueométricas, a revelar la doble cocción de las piezas.

FRITAS

Las fritas son una parte de la receta del esmalte que previamente se ha fundido y triturado. Se han usado fritas desde muy antiguo para la obtención del vidrio, los vidriados y también en las pastas de piedra (*stonepastes*) (Mason y Tite, 1994). El uso de las fritas tiene una serie de ventajas en función de su composición (Hammer y Hammer, 1986) que se pueden resumir en:

1. La insolubilización de ciertos minerales solubles en agua (boratos y cloruros) que tienden a cristalizar en la superficie de las piezas y que además alteran la fluidez de la suspensión en el momento de aplicar el barniz o esmalte.

2. La incorporación de ciertos materiales calcinados como las arcillas reduce problemas de retracción del esmalte.

3. Calcinación previa de los carbonatos, sulfuros, etc., para que su descomposición no interfiera con la maduración del vidriado. Si se descomponen al mismo tiempo, se produce un gran número de burbujas, reducciones, volatilizaciones, etc., no deseables en el resultado final.

4. Combinar ciertos materiales para reducir su grado de volatilización.

5. El uso de las fritas ayuda a un mejor control de la temperatura de fusión y maduración de los vidriados. A la vez que permite obtener los barnices y esmaltes en menor tiempo que si se cocieran con las materias originales sin calcinar ni fritar.

El origen de las fritas es sincrónico al de los vidrios, ya que desde el principio ciertos materiales se fundían y luego se trituraban y mezclaban con más componentes para hacer el vidrio alcalino. Ha sido de gran ayuda los hallazgos de libros antiguos que dan recetas de la fabricación de las fritas y vidrios, y que por su contemporaneidad con la cerámica se ha llegado a comprender el uso de fritas para los vidriados.

Un interesante documento medieval es el famoso tratado de Abū'l-Qāsim escrito en Bagdad hacia 1300 (Allan, 1973). En el apartado de cerámica se describen todas las materias primas, ingredientes y todo tipo de materiales y

requisitos en la elaboración de la cerámica y los vidriados. Para la fabricación de fritas para barnices con plomo mezclaban 2 ó 3 partes de «plomo blanco» (galena) de buena calidad con una parte o mejor media parte de estaño. Primero ponían a cocer o tostar el plomo y luego añadían el estaño. La mezcla se cocía en un horno especial conocido como *bariz* hasta que la superficie de la mezcla fuese como arenilla (el *siring*) que se iba retirando del fuego con una larga cuchara. El proceso de calcinación del estaño y el plomo duraban medio día. A parte también se tostaba un parte de calcita y una parte de sosa, y una vez enfriadas dentro del horno se mezclaban 2 ó 3 partes de ella con una parte del *siring*. La nueva mezcla se cocía en un horno de hacer fritas durante 12 horas mezclándolo constantemente hasta la obtención de una mezcla uniforme. La mezcla fundida se retiraba del horno y se tiraba dentro de un cubo de agua para que se enfriase rápidamente. El autor describe que en el momento de tirar la frita fundida en el agua se producía un gran ruido como relámpagos. Luego se trituraba, molturaba y tamizaba, dejándolo listo para su posterior aplicación.

El tratado veneciano de Cipriano Piccolpasso escrito a mediados del siglo XVI (Piccolpasso, 1980) también describe cómo se obtenían las fritas a base de una mezcla de plomo y estaño al que le añadían una parte de *marzacotto* (mezcla de arena, cenizas de sarmientos y sal común).

Éste sería el proceso de fabricación de fritas mixtas, mitad alcalinas y mitad plúmbicas. Un proceso muy similar de preparación de fritas, esta vez de PbO, se describe en el libro de Valls (1894), donde se explica que antiguamente en Valencia se oxidaba el Pb puro y la galena en hornos de reverbero llamados *armelés* (que en árabe significa arena) durante 6 horas y removiendo constantemente hasta obtener un material arenoso llamado *acercó*. Este material se mezclaba posteriormente con arena de cuarzo y sal común y se colocaba en la parte posterior del horno de cerámica (en el *sagén*) encima de una gruesa capa de cenizas para que no se pegara en el fondo. Una vez cocido en una cocción habitual de cerámica, se sacaba el material completamente vitrificado que se rompía a martillazos y se molturaba en molinos. Según este autor, en el siglo XII se empezó a añadir estaño en la calcinación de la galena. Las proporciones para las fritas de estaño son: 60 partes de plomo, 10 partes de arena y 1.5 ó 2 partes de estaño.

González Martí (1952) explica un proceso muy similar para la elaboración de las fritas valencianas: primero se fundía el plomo en el horno de quemar y cuando estaba fundido añadían el estaño sin dejar de remover la mezcla con una paleta. Una vez enfriado se añadía sal y arena. Colocaban la mezcla en el *sagen* del horno y se cocía durante una cocción de cerámica habitual.

O sea que en los distintos tratados se puede ver que en el proceso de fritado hay dos etapas diferenciadas:

1. La primera es la oxidación del plomo con o sin estaño para obtener los óxidos correspondientes. No queda claro si la materia prima es de Pb metal, galena o ambos indistintamente.
2. la segunda etapa era la fusión de la mezcla de plomo calcinado con arena de cuarzo y otros aditivos como la sal, las cenizas, etc.

Una vez fundida la frita se trituraba y se utilizaba con algún material que mejorara la suspensión (podía ser alguna arcilla blanca, o bien materiales orgánicos como colas arábicas, que aún actualmente se usan en la preparación de vidriados).

Se han hallado restos de fritas en los alfares de Murcia (San Nicolás siglo X), en el alfar islámico de Denia siglo XIII y en el alfar mudéjar de Paterna del siglo XIII (**tabla 5**). En el alfar de San Nicolás se han encontrado restos de fritas muy distintos: por un lado, aparecen 12 orcitas con una mezcla de arena de cuarzo y galena a medio fundir y, por otro lado, marmitas con abundantes goterones superpuestos de barnices verdes y amarillentos. La composición de las fritas (tanto el material a medio cocer dentro de las orcitas como la de los goterones) corresponde a la de los barnices de las piezas del alfar (Molera, 1996). La presencia de goterones indica que en el proceso de fritado llegaban a la completa fusión del barniz, para luego triturarlo y aplicarlo encima de las piezas. En cuanto a las doce orcitas llenas de material a medio fundir, es más difícil entender su significado, por cuanto el material no fue calentado dentro de las orcitas, ya que no hay restos de reacción en la pared. Podría ser que hubiesen almacenado el material a medio fritar dentro de orzas (las típicas vasijas de almacenar alimentos), porque tuviesen algún problema en el proceso completo de fritado o por algún otro motivo desconocido. De momento y hasta que no se hayan estudiado con detalle otros alfares de Murcia, no se puede dar una explicación definitiva sobre cómo preparaban las fritas ya que, por otra parte, tampoco se han hallado restos de fritas con estaño, aunque posiblemente las hubiera.

En Paterna se han encontrado ollas que por su cara interior presentan una gruesa capa de arena de cuarzo con algo de arcilla y por encima restos de la frita fundida con evidencias claras de que la frita se vertió dejando goterones en las paredes exteriores de las ollas. La composición de los goterones (**tabla 5**) coincide con la composición de los esmaltes producidos en el alfar (Molera, 1996). La capa de arena del interior de las ollas corresponde a una capa protectora o antifundente con la que recubrían el interior de las ollas para que no se estropearan en un solo uso. Los sucesivos goterones denotan la reutilización de las ollas. No se ha encontrado ningún resto de fritas para barnices en la extensa excavación de testares y alfares de los siglos XIII-XV, por lo que se puede asegurar que no empleaban fritas para éstos. Los barnices se aplicaban sobre la pieza cruda con una mezcla también en crudo de *alcofol* (galena) y arena de cuarzo. En el alfar de los siglos XIV-XV tampoco se han encontrado restos de fritas con estaño para los esmaltes. Esto plantea la duda sobre su existencia, aunque es posible que en futuras excavaciones de los testares aparezcan los restos, pero de momento sólo aparecen fritas en el siglo XIII y no en alfares posteriores (siglos XIV-XVI).

En el alfar islámico de Denia se han encontrado restos de fritas similares a los de Paterna; ollas con goterones en la parte externa y una capa de arenilla en la parte interna. Los análisis de los goterones ponen de manifiesto que se trata de fritas de esmaltes con estaño. Tampoco se encuentran fritas para los

barnices y, por lo tanto, la técnica islámica en el siglo XIII es la misma que en el mundo mudéjar en Paterna.

CONCLUSIONES

Del estudio que se ha presentado se deducen una serie de tendencias en el comportamiento general de los talleres islámicos y mudéjares y que, de algún modo, reflejan la evolución de la tecnología de producción de la cerámica entre los siglos X y XVI a lo largo de la costa mediterránea de la Península Ibérica.

A modo de conclusiones, los siguientes puntos representan los trazos generales que se derivan de los resultados analíticos presentados para cada taller o zona de producción:

— Todos los talleres estudiados producían diversos tipos de pastas cerámicas, en función del uso final de la pieza. Todas las producciones de ollas son pastas no cálcicas con abundante desgrasante de naturaleza variada, todos los contenedores son pastas cálcicas (CaO entre el 5 y el 10%), y todas las cerámicas destinadas a soportar esmaltes blancos son muy cálcicas (CaO sobre el 15% o más), dependiendo de la calidad del producto final. El quimismo de cada tipo de pasta es distinto y, por lo tanto, se han establecido los grupos de referencia para: el alfar de San Nicolás de Murcia, el alfar islámico de Balaguer, el alfar de la C/. Teulada de Denia, las «Olleries Majors» de Paterna y producciones del área catalana. No es posible establecer un único grupo de referencia para cada taller, sino que hay que considerar diversos grupos para cada centro de producción. Y consecuentemente, no es posible comparar tipos cerámicos distintos para atribuciones de origen.

— Desde el punto de vista de preparación y manipulado de las pastas, se han determinado mezclas de materias primas en algunos talleres (Denia —a través de observaciones de láminas delgadas— y Paterna —se han encontrado los materiales en el taller durante las excavaciones—). El conformado inicial está hecho sistemáticamente a torno, con las modificaciones evidentes para formar los picos de vertido, asas, etc. La cocción se ha hecho siempre en hornos de doble cámara, de mayor o menor tamaño dependiendo de los distintos talleres, y las temperaturas alcanzadas hay que situarlas ligeramente entre 950 °C y 1000 °C.

— Los vidriados (tanto barnices como esmaltes) son en todos los casos de $\text{SiO}_2\text{-PbO}$, con una relación cercana al punto eutéctico del diagrama de fases $\text{SiO}_2\text{-PbO}$, con una tendencia a disminuir la cantidad de plomo en los esmaltes más modernos respecto de los primitivos islámicos del siglo X. El uso de vidriados de plomo parece coherente con el hecho de que la Península Ibérica es una zona de producción de galena desde la antigüedad. La incorporación de otros elementos a la composición del vidriado debía hacerse, en parte por la contaminación natural de las arenas de cuarzo, y en parte por difusión de elementos de la pasta hacia el vidrio durante la cocción, aunque no se descarta

que añadieran una parte de arcilla en la receta para obtener mayor suspensión del barniz.

— Los barnices (vidriados transparentes de $\text{SiO}_2\text{-PbO}$) presentan colores que oscilan desde el amarillo al marrón, pasando por los típicos melados, y verde. Los colores son en parte el color propio del vidrio, en parte el color de la pasta observada a través de la capa de vidriado. Por lo tanto, en el color apreciado influye el color de la pasta (y su composición, obviamente) y el del propio vidriado.

En los talleres islámicos (Murcia, Balaguer, Mallorca y Denia) los barnices amarillos contienen Fe, probablemente difundido desde la pasta, mientras que los verdes están coloreados con Cu. Algunos trazos marrones de esta época se consiguen mediante MnO. La cocción suele ser doble, de modo que el barniz se aplica sobre la pieza previamente bizcochada. Parece que en el taller de San Nicolás (siglo X) las materias primas de los barnices eran previamente fritadas.

En cambio, en los talleres mudéjares de Paterna el colorante es siempre Fe (Fe^{+3} para los tonos amarillos a marrones, y Fe^{+2} para los verdes). La obtención de los distintos tonos ocre (amarillos-marrones) se consigue utilizando distintos tipos de pastas, mientras que los tonos verdes se alcanzan utilizando la misma pasta cerámica que para los amarillos, pero aplicando el barniz por ambas caras de la pieza. Las cocciones siempre son únicas, de manera que el barniz se aplicaba sobre la pieza cruda. No hay evidencia alguna de que los materiales fueran fritos *a priori* y, posiblemente, la aplicación podía haberse hecho directamente con galena y arena de cuarzo.

— Los esmaltes son, en todos los casos estudiados, vidriados de $\text{SiO}_2\text{-PbO}$ con SnO_2 como opacificante. La relación Si/Pb tiende a descender en los talleres más modernos, como se ha discutido en un anterior apartado, mientras que las cantidades de Sn de todos los talleres y zonas de producción estudiados oscila entre el 5 y el 10% de SnO_2 . Las diferencias entre talleres o zonas radica en el tamaño y distribución de los cristales opacificadores. En las producciones islámicas más antiguas (Murcia y Mallorca), los cristales tienen tamaños por debajo de los 500nm y una distribución muy uniforme, mientras que en producciones más modernas (Denia, Paterna y la zona catalana) los cristales son ligeramente mayores (entre 300 y 1000nm) y distribuidos heterogéneamente, como formando grupos.

La aplicación de los esmaltes es casi siempre sobre piezas bizcochadas, como lo indican las evidencias arqueológicas en algunos casos, y el desarrollo de un interfase delgada (aproximadamente 5 micras) entre esmalte y pasta, en todos los casos. Sin embargo, en algunas piezas mudéjares modernas (siglo XV) de Paterna y la zona catalana, aparecen interfases gruesas, lo cual sugiere una posible aplicación y monococción, aunque este término no quede asegurado en el presente estado de la investigación.

Las pastas sobre las que se aplican los esmaltes son siempre pastas cálcicas (contenidos en CaO entre el 10 y el 20%), lo cual mejora la similitud entre las retracciones de pastas y vidriados y, además, evita el desarrollo de

colores muy rojizos en las pastas que obligarían al uso de mucho Sn o vidriados muy gruesos. La mayor o menor calidad de las producciones en función de su distribución se pone de manifiesto en las pastas, el espesor de los vidriados y la cantidad de SnO_2 , de modo que algunas producciones valencianas tienen un tono rosado debido a que el color rojizo de la pasta se hace aparente a través del esmalte.

De modo genérico, se observa una tendencia desde los talleres islámicos más antiguos hasta los mudéjares hacia una cierta industrialización de los procesos de producción. Se tiende a eliminar etapas de producción innecesarias y a simplificar la producción al máximo. En este sentido es de notar el uso de fritas para barnices en Murcia (siglo X) y su aplicación en piezas previamente cocidas, técnica que se pierde en talleres posteriores, o la coloración con Cu en los barnices verdes islámicos (Murcia siglo X y Denia siglo XIII), mientras que en los talleres de Paterna las diversas coloraciones se obtienen sin añadir colorante alguno aprovechando la difusión de cationes de la pasta.

Sin embargo, el conjunto de técnicas cerámicas (selección de pastas en base a la funcionalidad de las piezas, barnices y esmaltes de $\text{SiO}_2\text{-PbO}$, opacificación con SnO_2 , etc.) tiene una clara tradición islámica, lo cual sugiere que existe una evidente continuidad en la tradición cerámica (avalada además en la documentación relativa a la conquista de Jaume I). Tanto es así, que el taller mudéjar del siglo XIII de Paterna es mucho más similar al taller islámico de Denia (siglo XIII), que éste con respecto al alfar San Nicolás (siglo X) ambos islámicos. En cambio, las producciones esmaltadas mallorquinas del siglo XI tienen unas características cercanas al taller de Murcia (siglo X) por lo que se refiere a distribución y tamaño de los cristales de estaño.

Es decir, de modo general, se puede afirmar que las técnicas de producción cerámica de tradición islámica perduran en el mundo mudéjar tras la conquista de Jaume I (exceptuando casos como Denia o Balaguer que dejan de producir tras la conquista porque la ciudad es arrasada). Sin embargo, esta continuidad de la tradición no es óbice para que tenga lugar un cierto proceso de industrialización que tiende a simplificar las etapas productivas, eliminando fases supérfluas que no mejoran la calidad final de producto y en cambio entorpecen la producción. De alguna manera estamos ante una cierta etapa preindustrial de producción de productos de calidades (y precios) variados destinados a abastecer un mercado local al mismo tiempo que otro lejano (exportación), tratando de minimizar los costes de fabricación en base a optimizar la secuencia productiva.

BIBLIOGRAFÍA

ALLAN, J. W.

(1973) Abū'l-Qāsim's Treatise on Ceramics. *Iran* IX. pp. 111-120.

AMIGUES, F. y MESQUIDA, M.

(1987) *Un horno medieval de cerámica. El Testar del Molí, Paterna (València)*. Publicaciones de la Casa de Velázquez. Madrid.

AMIGUES, F. y MESQUIDA, M.

(1993) *Les ateliers et la ceramique de Paterna (XIIIe-XIVe siècle)*. Ed. Musée Saint-Jacques. 72 pp. Ville de Béziers.

AURA CASTRO, E.

(1996) Tesis Doctoral.

BEALS, M. D., BLAIR, L. R., FORAKER, R. W. y LASKO, W. R.

(1951) Study of particle size of the opacifying phase in Titania Enamels: I, Change of Particle Size with Change of Concentration of Dissolved TiO_2 . *Journal of the American Ceramic Society* 34 [10] 291-297.

CAIGER SMITH, A.

(1985) *Lustre Pottery. Technique, tradition and innovation in Islam and the Western World*. Faber and Faber. London.

CAIGER SMITH, A.

(1973) *Tin-Glaze Pottery in Europe and the Islamic World. The tradition of 1000 years in Maiolica, Faience & Delftware. Technique, tradition and innovation in Islam and the Western World*. Faber and Faber. London.

COOPER, E.

(1988) *A History of world pottery*. B.T Batsford Ltd. 224 pp. London.

EPPLER, R. A.

(1971a) Use of scattering theory to interpret optical data for enamels. *Journ. Amer. Ceram. Soc.*, 54 [2], pp. 116-120.

ESCUADERO ARANDA, F.

(1990) La cerámica decorada en «verde y manganeso» de madinat al-Zahra. *Cuadernos de Madinat al-Zahra*. Vol. 2, pp. 127-161. Universidad de Córdoba.

FERNÁNDEZ NAVARRO, J. M.

(1985) *El vidrio: constitución, fabricación y propiedades*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto de Cerámica y Vidrio, Madrid.

GELLER R. F. y BUNTING E. N.

(1943) Report on the systems lead oxide-alumina and lead oxide-alumina-silica. *J. Res. NBS*. 31, pp. 255-270. (RP1564).

GIRALT, J.

(1983) *Balaguer i el món islàmic*. Museu Comarcal de la Noguera. Publ. del Dept. Cultura de la Generalitat de Catalunya. 10 pp.

GISBERT, J., BRUGUERA, V. y BOLUFER, J.

(1992) *La cerámica de Daniya —Dénia—. Alfares y ajuares domésticos de los siglos XII-XIII*. Museo Nacional de Cerámica y de las Artes Santuarias «González Martí». Ed. Ministerio de Cultura. 195 pp.

GONZÁLEZ MARTÍ, M.

(1952) *Cerámica del Levante español, I, II y III*. Ed. Labor. Barcelona.

HAMMER, F. y HAMMER, J.

(1986) *The Potter's Dictionary of Materials and Techniques*. Ed A&C Black. London.

KINGERY, W. D. y VANDIVER, P. B.

(1986) *Ceramic Masterpieces, Art, Structure and Technology*. John Wiley and sons Ed. New York.

KINGERY, W. D., BOWEN, H. K. y UHLMAN, D.R.

(1976) *Introductions to ceramics*. 2nd Edition. *Wiley Series on the Science and Technology of Materials*. Burke, Chalmers & Krumhansl Ed. pp. 363.

KLEINMANN, B.

(1986) History and Development early Islamic pottery glazes. *Archeometry*'86: *Proceedings of the 24th International Archaeometry Symposium*. Ed. Olin, J. & Blackman, J. Smithsonian Institution Press, pp. 73-84.

LÓPEZ MULLOR, A.

(1997) Estudi arqueològic del conjunt del Castell de Castelldefels (Barcelona). *La ceràmica medieval Catalana. El Monument, document. Quaderns científics i Tècnics*, 9, pp. 325-350.

LÓPEZ MULLOR, A., CAIXAL, A. y FIERRO-MACÍ, X.

(1997) Cronologia i Difusió d'un grup de ceràmiques medievals trobades a les comarques de Barcelona (s. VII-XIV). *La ceràmica medieval Catalana. El Monument, document. Quaderns científics i Tècnics*, 9, pp. 101-142.

MASON, R. B.

(1994) *Islamic Glazed Pottery: 700-1250*. Tesis Doctoral. Universitat d'Oxford.

MASON, R. B. y TITE, M. S.

(1994) The beginnings of Islamic Stonepaste Technology. *Archeometry* 36, [1], 77-91.

MASON, R. B. y TITE, M. S.

(1997) Early opaque glazes and the beginnings of tin-opacification. *Archeometry*. 39, 41-58.

MESQUIDA, M.

(1987) *Una terrisseria dels s. XIII i XIV*. Publicacions del Ajuntament de Paterna. pp. 30. Paterna.

(1989) *La ceràmica de Paterna al s. XIII*. Publicacions de l'Ajuntament de Paterna. pp. 28.

MOLERA, J., PRADELL, T., MARTÍNEZ-MANENT, S. y VENDRELL-SAZ, M.

(1993) The growth of sanidine crystals in the lead glazes of Hispano-Moresque pottery. *Applied Clay Science*, 7, pp. 483-491.

MOLERA, J., GARCÍA-VALLÈS, M., PRADELL, T. y VENDRELL, M.

(1996) Hispano-moresque pottery productions of the fourteenth-century workshop of the Testar del Molí (Paterna, Spain). *Archeometry*, 38 [1], pp. 67-80.

MOLERA, J.

(1996) *Evolució mineralògica i interacció de les pastes càlciques amb els vidrats de plom: implicacions arqueomètriques*. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona.

MOLERA, J., VENDRELL, M., GARCÍA-VALLES, M. y PRADELL, T.

(1997) *Technology and colour development of Hispano-Moresque lead-glazed pottery*. *ARCHAEOLOGY*, 39, 23-39.

MUÑOZ LÓPEZ, F.

(1993) Nuevos datos sobre urbanismo y alfarería medieval en Murcia. *Verdoy* n. 4. Museo de Murcia. pp. 175-184.

NAVARRO PALAZÓN, J.

(1986) La cerámica islámica en Murcia. *Catálogo*. Murcia. 335 pp.

(1990) Los materiales islámicos del alfar antiguo de San Nicolás de Murcia. *Fours de potiers et «testares» médiévaux dans le Méditerranée occidentale*. Casa de Velázquez, série archéologie XIII. Madrid. pp 29-43.

PÉREZ-ARANTEGUI, J., URUÑUELA, M.I. y CASTILLO, J.

(1995) Roman Lead Glazed Ceramics: classification of the pottery found in the Tarraconensis (Spain), 1st-2nd century A.D. *Fourth euro ceramics*, Vol 14, pp. 209-218.

PÉREZ-ARANTEGUI, J., SOTO, M. CASTILLO, J. y LAPUENTE, P.

(1996) Decoration Techniques in glazed ceramics from the Islamic western world: study of the «cuerda seca» decoration in Al-Andalus (Spain) by scanning electron microscopy. *Collected Abstracts of International Symposium on Archaeometry*. Urbana-Champaign, Illinois. pp. 84

PICCOLPASSO, C.

(1980) *The three books of the Potter's*. Editor y Traductor: Lightbown y Cazier Smith. Londres.

RAFFAILLAC-DESFOSSE, C., MOLERA, J., VENDRELL-SAZ, M. y SCHVOERER, M.

(1995) Détection et caractérisation des cristaux de dévitrification dans les glaçures médiévales. *L'Archéométrie dans les pays européens de langue latine*. Colloque d'Archéométrie, Perigueux 1995. pp. 139.

ROSSELLÓ BORDOY, G.

(1987) Algunas observaciones sobre la decoración cerámica en verde y manganeso. *Cuadernos de Madinat al-Zahra*, 1, pp. 125-137.

TITE, M. S.

(1987) Characterisation of early vitreous materials. *Archaeometry* [1] 29, pp. 21-34.

TITE, M. S., FREESTONE, I., VENDRELL-SAZ, M., MOLERA, J. NOODE, K. y MASON, R.

(1998) Why lead glazes?, *Archaeometry*, 40, 241-260.

VALLS DAVID, R.

(1894) *La cerámica, apuntes para la historia y su fabricación*. Imprenta de Juan Guix. Tomo II. Valencia.

Tabla 2. Composición y desviación estándar de las cerámicas de cada alfar. Grupo A: olla y marmittas, Grupo B: vajilla barnizada o esmaltada, Grupo B1: tinajas y contenedores, Grupo B2: vajilla esmaltada, Grupo B3 y Grupo C: cerámica común barnizada.

Procedencia	s. X	cerámica islámica	color	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃
Murcia	s. X	cerámica islámica	GRUPO A GRUPO B	56.45 (2.16) 40.57 (1.87)	15.43 (1.09) 10.89 (0.61)	0.36 (0.04) 0.36 (0.04)	3.98 (0.28) 2.52 (0.32)	1.37 (0.28) 3.64 (0.62)	4.62 (2.00) 18.27 (2.79)	5.97 (0.62) 4.05 (0.34)
				58.39 (1.01) 48.69 (1.35)	20.52 (0.75) 19.72 (0.74)	0.85 (0.12) 0.84 (0.09)	2.87 (0.34) 3.65 (0.26)	1.35 (0.33) 2.27 (0.19)	3.64 (1.55) 8.96 (1.14)	7.22 (0.65) 6.77 (0.22)
Baleguer	s. XI		GRUPO A GRUPO B	49.67	13.16	0.80	2.65	2.40	13.30	5.01
Mallorca	s. XI		cerámica local							
Denia	s. XIII		GRUPO A GRUPO B1 GRUPO B2	59.76 (2.71) 45.78 (2.03) 12.33 (1.41)	14.87 (0.72) 11.41 (1.55) 14.16 (1.06)	0.39 (0.08) 0.42 (0.15) 0.60 (0.30)	4.10 (0.58) 1.92 (0.39) 2.83 (0.56)	1.64 (0.47) 1.17 (0.07) 1.35 (0.13)	5.83 (1.47) 18.78 (2.03) 12.33 (1.41)	4.17 (1.02) 3.78 (0.24) 4.22 (0.36)
				49.58 (1.28)	13.18 (0.21)	1.10 (0.34)	1.93 (0.52)	2.43 (0.22)	13.56 (0.57)	5.09 (0.15)
Granada	s. XIV		c. esmaltada							
Paterna	s. XII		c. esmaltada	60.36 (0.42)	19.85 (0.48)	...	4.10 (0.06)	1.75 (0.04)	7.42 (0.05)	5.71 (0.11)
	s. XIII	cerámica mudéjar	GRUPO A GRUPO B1 GRUPO B2 GRUPO B3	67.83 (3.87) 47.81 (1.97) 53.40 (1.16) 60.70 (1.38)	13.60 (1.59) 12.76 (0.51) 14.62 (1.05) 15.44 (0.81)	0.09 (0.09) 0.43 (0.48) 0.13 (0.15) 0.07 (0.13)	2.72 (1.61) 16.74 (0.88) 12.30 (0.72) 6.99 (1.25)	1.23 (0.34) 2.12 (0.22) 1.99 (0.32) 2.07 (0.20)	2.70 (1.61) 16.74 (0.88) 12.30 (0.72) 6.99 (1.25)	4.64 (0.92) 3.59 (0.22) 4.08 (0.38) 4.53 (0.30)
	s. XIV-XV		GRUPO A GRUPO B1 GRUPO B2 GRUPO C	71.53 (1.19) 54.00 (1.58) 50.58 (3.17) 59.01 (1.04)	14.24 (0.85) 15.95 (0.74) 13.08 (0.95) 18.79 (0.41)	0.08 (0.09) 0.34 (0.52) 0.40 (0.44) 0.35 (0.05)	3.16 (0.12) 3.65 (0.39) 2.72 (0.46) 4.54 (0.07)	1.33 (0.13) 2.21 (0.21) 1.98 (0.29) 2.31 (0.15)	1.25 (0.34) 13.12 (1.21) 18.21 (2.29) 4.63 (1.02)	4.85 (0.39) 4.43 (0.19) 3.87 (0.23) 5.72 (0.15)
Barcelona	s. XIV-XV		Castelldefels Barcelona Cardona	48.39 (1.35) 52.88 (0.65) 52.11 (1.23)	13.86 (0.64) 14.30 (0.26) 13.63 (0.37)	0.57 (0.22) 0.53 (0.03) 0.66 (0.03)	3.52 (0.81) 3.80 (0.06) 3.51 (0.30)	2.22 (0.20) 1.82 (0.17) 1.70 (0.11)	13.38 (1.37) 9.33 (0.72) 10.03 (0.54)	4.58 (0.42) 5.11 (0.30) 4.89 (0.16)

Tabla 3. Composición media y desviación estándar de los barnices.

procedencia		color	SiO ₂	PbO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CuO
Murcia	s. X	cerámica islámica	AMARILLO MARRON	34.22 (1.13)	54.23 (1.52)	0.82 (0.11)	1.78 (0.24)	0.39 (0.17)	2.91 (0.34)	1.43 (0.52)	0.04 (0.06)
	32.54 (0.27)			53.01 (2.30)	0.52 (0.04)	1.63 (0.48)	0.38 (0.01)	3.50 (0.63)	3.31 (0.51)	1.71 (0.50)	0.02 (0.04)
Balaguer	s. XI	VERDE AMARILLO	36.95	52.27	0.87	1.44	0.53	2.72	2.64	1.39	1.17
	33.11		54.56	0.43	1.59	0.51	3.80	3.36	2.23	0.26	
Mallorca	s. XI	VERDE	30.74	56.74	0.61	0.58	0.25	1.45	2.23	2.02	4.63
Denia	s. XIII	VERDE	33.39 (0.22)	52.83 (1.38)	0.85 (0.06)	1.53 (0.06)	0.29 (0.04)	3.04 (0.28)	2.92 (0.47)	1.15 (0.14)	2.70 (0.21)
Paterna	s. XIII	cerámica mudéjar	VERDE AMARILLO MARRON	32.76 (1.53)	54.62	0.25 (0.60)	0.93 (0.37)	0.49 (0.11)	5.25 (0.51)	2.53 (0.50)	0.00 (0.00)
	30.28 (1.16)			(11.70)	0.10 (0.03)	0.86 (0.23)	0.43 (0.13)	2.41 (0.22)	5.44 (0.26)	1.94 (0.19)	0.00 (0.00)
			33.59 (1.09)	57.68	0.10 (0.05)	0.84 (0.29)	0.70 (0.12)	1.44 (0.63)	5.94 (0.58)	2.56 (0.50)	0.00 (0.00)
				(15.52)							
				53.11 (5.61)							
s. XIV-XV		MELADO MARRON	32.84 (1.58)	55.78 (1.69)	0.09 (0.03)	0.63 (0.26)	0.58 (0.17)	1.55 (0.29)	5.61 (0.82)	2.17 (0.56)	0.00 (0.00)
			32.83 (0.75)	57.00 (4.80)	0.17 (0.06)	0.87 (0.10)	0.66 (0.03)	0.89 (0.60)	4.88 (0.76)	2.12 (0.43)	0.00 (0.00)

Tabla 4. Composición media y desviación estándar de los esmaltes.

procedencia		color	SiO ₂	PbO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SnO ₂
Murcia	s. X	cerámica islámica	verde y morado	33.50 (3.47)	54.59 (2.24)	1.01 (0.26)	1.35 (0.40)	0.18 (0.12)	0.55 (0.45)	0.33 (0.19)	7-10%
			blanco	38.11 (2.42)	58.55 (5.23)	1.61 (0.17)	1.62 (0.19)	0.33 (0.20)	0.71 (0.82)	0.53 (0.39)	
Mallorca	s. XI		blanco	30.94 (1.38)	53.91 (2.70)	1.00 (0.20)	1.18 (0.50)	0.23 (0.08)	3.23 (1.56)	1.21 (0.54)	7-9%
	s. XIII		verde y morado	31.06 (1.18)	55.35 (1.73)	2.34 (0.10)	0.60 (0.06)	0.24 (0.06)	0.92 (0.12)	0.14 (0.09)	6-7%
Granada	s. XIV		reflejo metálico	40.85 (2.89)	43.69 (1.92)	1.26 (0.31)	2.69 (0.30)	0.30 (0.05)	1.67 (0.38)	0.49 (0.26)	7-9%
Paterna	s. XII		blanco/verde	40.41 (2.31)	46.49 (0.37)	0.36 (0.30)	1.46 (0.36)	0.52 (0.07)	2.31 (0.55)	1.12 (0.24)	7-10%
	s. XIII	cerámica mudéjar	reflejo metálico	49.38 (1.23)	39.04 (0.50)	0.65 (0.28)	5.05 (0.06)	0.47 (0.08)	1.80 (0.09)	0.24 (0.16)	7-10%
			azul	38.16 (3.62)	45.49 (0.45)	0.90 (0.29)	4.24 (0.05)	0.55 (0.03)	2.28 (0.13)	0.30 (0.14)	
			blanco	45.04 (1.71)	43.83 (2.45)	1.10 (0.09)	2.77 (0.43)	0.22 (0.05)	1.77 (0.33)	0.48 (0.32)	
			verde y morado	45.78 (2.11)	40.30 (3.72)	0.55 (0.26)	2.42 (0.76)	0.40 (0.15)	2.24 (0.92)	0.46 (0.15)	
	s. XIV-XV		reflejo metálico	51.85 (2.04)	33.80 (0.79)	0.62 (0.11)	6.49 (0.97)	0.16 (0.01)	2.33 (0.26)	0.29 (0.16)	5-8%
			azul	50.39 (3.03)	32.64 (1.96)	0.91 (0.07)	5.06 (1.08)	0.29 (0.03)	2.49 (0.33)	2.14 (2.20)	
Barcelona	s. XIV-XV		blanco	48.41 (1.61)	32.62 (0.78)	1.17 (0.70)	5.26 (1.19)	0.29 (0.04)	2.62 (0.12)	3.75 (1.10)	5-8%
			verde y morado	44.55 (4.01)	41.47 (2.81)	0.72 (0.32)	3.77 (1.14)	0.22 (0.07)	1.52 (0.31)	0.84 (0.34)	
			azul	39.01 (1.04)	45.63 (2.05)	0.87 (0.33)	2.31 (0.44)	0.35 (0.03)	2.08 (0.42)	0.94 (0.11)	
			verde y morado	35.83 (5.72)	49.76 (8.24)	1.03 (0.24)	2.74 (0.76)	0.34 (0.02)	2.05 (0.21)	0.69 (0.09)	

Tabla 5. Composición de las fritas.

Procedencia	REF.	FRITAS	SiO ₂	PbO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SnO ₂
Murcia s. X	SF01	material contenido dentro de las orcitas	35.84	56.61	n.d	0.11	0.39	3.89	1.85	0.33	0.00
	SF02		35.04	58.01	n.d	0.07	0.27	4.18	1.18	0.29	0.00
	SF03		38.52	50.95	n.d	0.21	0.83	5.34	2.57	0.54	0.00
	SF04		40.07	52.60	n.d	0.12	0.48	3.89	1.28	0.36	0.00
	SF05		37.73	54.66	n.d	0.10	0.50	3.96	1.46	0.35	0.00
	SF06		37.80	53.28	n.d	0.10	0.35	4.35	2.40	0.39	0.00
	SF07		38.67	53.73	n.d	0.15	0.65	3.93	1.48	0.34	0.00
	SF13		30.99	61.98	n.d	0.20	0.57	4.23	1.43	0.22	0.00
Denia s. XIII	SF12	goterones en las paredes exteriores de las ollas o marmitas.	32.71	57.63	n.d	1.12	0.33	2.38	4.00	0.99	0.00
	SF111		36.10	56.51	1.12	0.18	0.00	1.26	0.30	0.46	0.32
	SF112		34.86	58.60	0.98	1.12	0.00	0.52	0.28	0.58	0.24
	DV08		39.0	46.9	1.22	0.57	0.14	0.70	1.07	0.13	6.5
Paterna s. XIII	DV11		27.6	57.2	1.60	0.44	0.11	0.96	0.84	0.18	7.2
	DV12		28.0	58.1	1.36	0.52	0.21	0.76	0.55	0.11	6.7
	TF29		38.68	49.10	n.d	0.98	0.13	0.56	2.03	0.22	7.74
	TF30		37.12	51.22	n.d	1.04	0.09	0.42	1.84	0.17	7.55
		alfar mudejar									

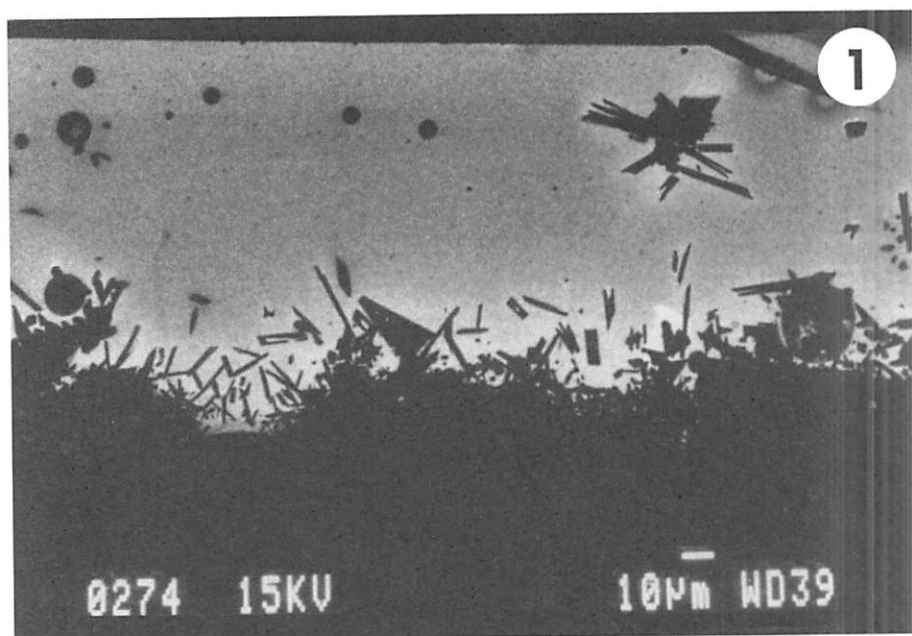


Fig. 1. Imagen de microscopio electrónico de barrido de una sección pulida de un barniz con una interfase gruesa, propia de monococción, con abundantes cristales de feldespato de Pb-K.

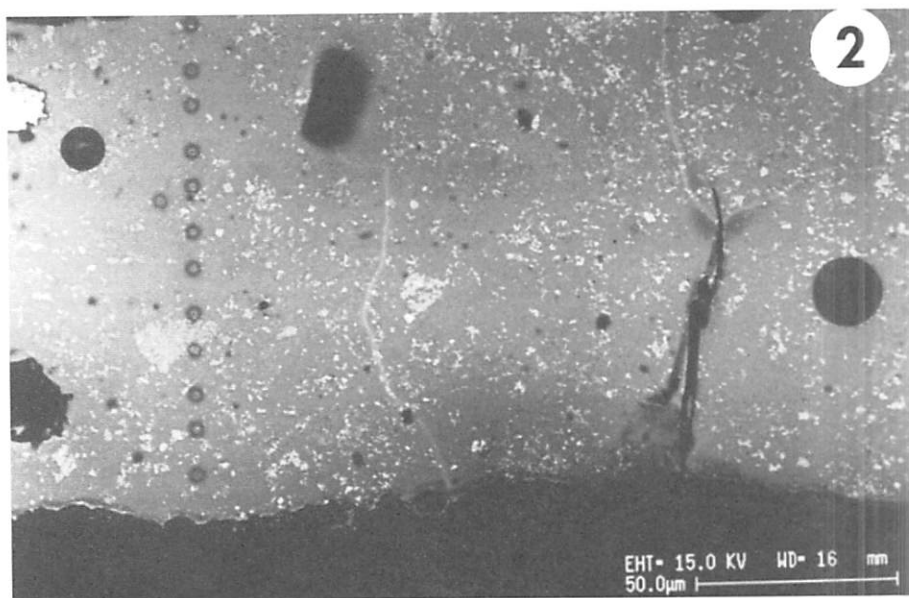


Fig. 2. Imagen de microscopio electrónico de barrido de una sección pulida de un esmalte donde se puede ver la distribución homogénea de los cristales de casiterita (SnO_2). El pequeño espesor de la interfase es propio de una bicocción.

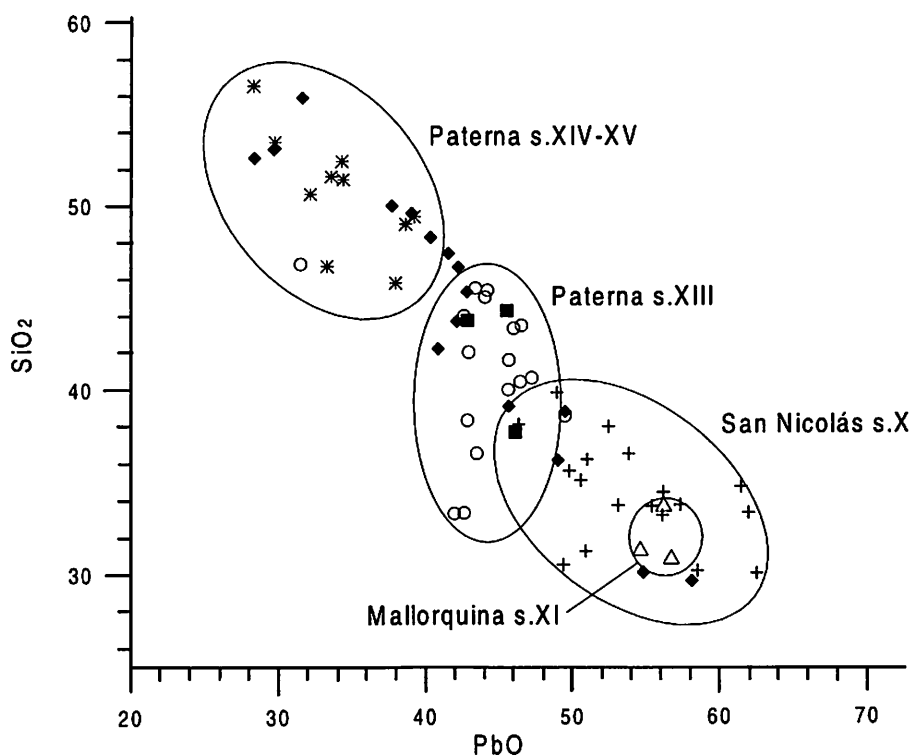


Fig. 3. Relación PbO-SiO_2 del conjunto de esmaltes analizados. La cantidad de PbO disminuye desde las producciones islámicas del siglo X hacia las producciones mudéjares del siglo XV.

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| + San Nicolás s. X | △ Mallorca s. XI |
| ■ Nazarina s. XIV | ○ Paterna s. XIII |
| * Paterna s. XIV-XV | ◆ Catalunya s. XIV-XV |

LA CERÁMICA «VERDE Y NEGRO» DE LOS TALLERES ISLÁMICOS DE ZARAGOZA: CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE SUS RECUBRIMIENTOS

por

J. PÉREZ-ARANTEGUI, E. RUIZ y J. R. CASTILLO

Dpto. Química Analítica. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza.

RESUMEN

A partir de las excavaciones de una importante zona de producción alfarera en el actual Barrio de San Pablo de Zaragoza, se ha puesto de manifiesto el interés en el estudio y profundización sobre la fabricación de cerámica en esta ciudad en época musulmana, especialmente durante el tiempo en el que ésta fue la capital de uno de los más florecientes reinos de Taifas. De los diferentes tipos de decoración de cerámicas utilizados, uno de los que presenta un mayor interés tecnológico es el de la decoración en verde y negro sobre blanco, conocido como «verde y morado». Así, a través del estudio arqueométrico de estos recubrimientos mediante microscopía electrónica, se han puesto de manifiesto sus características principales y que los diferencian de otras producciones de este mismo tipo en otras zonas de al-Andalus, además de la utilización de esmaltes en la cerámica musulmana desde el siglo X.

LA DECORACIÓN EN «VERDE Y NEGRO»

Dentro del estudio sobre la cerámica islámica fabricada en la ciudad de Zaragoza que se está llevando a cabo en los últimos años, uno de los principales focos de interés radica en el conocimiento de los distintos tipos de decoración que se utilizaron sobre la cerámica en aquel período, ya que muchas de las técnicas de fabricación y de decoración de la cerámica musulmana, que se produjo en la Península Ibérica entre los siglos X al XII, son todavía muy poco conocidas desde el punto de vista tecnológico.

En este caso, los objetos estudiados proceden de los hornos musulmanes excavados en Zaragoza, donde se estuvo produciendo cerámica durante el siglo

XI, e incluso desde finales del siglo X, hasta comienzos del XII. De los distintos modos de decoración que aparecen sobre estas piezas, en uno de los que se han centrado estos estudios es el de dibujos en verde y negro sobre fondo blanco, conocido como cerámica «verde y manganeso», «verde y morado» o también, por algunos autores, como «engalba blanca», tanto para investigar las materias primas utilizadas y el procedimiento de fabricación, como las peculiaridades de los talleres zaragozanos frente a otras zonas en las que también aparece este tipo de cerámica o frente a objetos datados como propiamente de época califal.

Para ello, además de las muestras de fragmentos procedentes de los hornos islámicos zaragozanos, se estudiaron piezas también con esta misma decoración procedentes de excavaciones de la ciudad de Córdoba y de Madinat al-Zahra.

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS DECORACIONES

La caracterización química de estos recubrimientos cerámicos se llevó a cabo mediante Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis de Rayos X, con detector de Dispersión de Longitudes de onda y con detector de Dispersión de Energía.

En todos los objetos estudiados, el recubrimiento de las piezas cerámicas, contrariamente a lo que algunos autores sostienen, se presentaba en forma de un auténtico vidriado al plomo, opacificado con óxido de estaño, sobre el que se había dibujado el diseño en verde y negro, con espesores de alrededor de 150 μm , y sin ningún tipo de engobe entre el vidriado y la pasta cerámica. La cara secundaria de la pieza aparece, en la mayor parte de los casos, bañada con un vidriado de color entre amarillo y miel, también al plomo, pero de composición totalmente diferente a la del vidriado principal.

Como ambos vidriados, tanto el principal como el secundario, presentan siempre una escasa capa de reacción entre ellos y la pasta cerámica, puede suponerse que se aplicaban sobre la pieza después de que ésta hubiera sufrido una primera cocción, lo que se conoce como bizcochado.

El color blanco es debido a la presencia de óxidos de estaño (casiterita), que en forma de pequeños cristales producen un efecto opacificante en el vidriado al plomo.

Una característica importante de estos vidriados es que aparecen en ellos muchas inclusiones de cuarzo, de un tamaño bastante grande, algunas veces de unas dimensiones semejantes al espesor del vidriado. La presencia de este cuarzo contribuiría también a la opacificación del vidriado, pero no sería suficiente por sí sola porque además no se presenta como una capa continua, ya otros autores han señalado con anterioridad la utilización de cuarzo como opacificante en vidriados. Aunque se presentaban en todas las muestras estudiadas, parece que la proporción de inclusiones de cuarzo podría disminuir al pasar a niveles de cronología ligeramente posterior, con un cierto aumento de los nive-

les de óxido de estaño y con la aparición de inclusiones de feldespato potásico en algunas muestras.

La explicación de la presencia de estas inclusiones de cuarzo, que empeoran en general las propiedades del vidriado y aceleran su alteración, podría estar en un ahorro del óxido de estaño como opacificante y en la preparación de la frita para el vidriado, que por sus proporciones dejase una buena parte del cuarzo utilizado sin fundir o por un menor grado de molienda.

Respecto a la composición química de estos vidriados blancos, aunque no existen grandes diferencias entre ellos, podrían distinguirse dos subgrupos, en los que el primero presenta un porcentaje de óxido de silicio algo mayor que el de plomo y el segundo, con porcentajes similares de ambos óxidos, tiene sin embargo una mayor proporción de óxido de estaño. Como características comunes a todos ellos están la proporción de alcalinos ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=5\%$) y la escasa aportación de óxido de aluminio. Los vidriados blancos producidos en Zaragoza aparecían además con una composición muy diferenciada respecto a los analizados procedentes del sur de la Península.

Para la preparación del vidriado blanco, además del plomo (probablemente como galena) y del óxido de estaño, se utilizaba arena o cuarzo, siendo ésta además muy pura y blanca, con un escaso aporte de arcilla (por la baja proporción de aluminio que aparece) y de óxidos de hierro (porcentajes de hierro también muy bajos), a la que se añadía además una pequeña proporción de alcalinos.

La decoración en verde se debe, en todos los casos, a la presencia de cobre disuelto en forma iónica en el vidriado, que produce esta coloración.

Al aplicarse sobre el blanco, en las zonas de vidriado de color verde aparecen también óxidos de estaño y la composición base (silicio, plomo y alcalinos) es similar, aunque en ellas la proporción de aluminio es algo mayor que en el blanco, aumento que podría ser debido a la preparación de la coloración verde de forma distinta al blanco, con un mayor porcentaje de arcilla, que no llega a aumentar significativamente el nivel de silicio por la pequeña cantidad de la preparación en verde que se extendería sobre el blanco.

Los dibujos en negro presentan esta coloración por la presencia de manganeso en el vidriado, no en forma de inclusiones como ocurre en otras decoraciones, sino también disuelto como ion.

Aplicado de nuevo sobre el blanco, presenta una composición muy similar de todos los elementos, incluido el estaño, por lo que la única materia prima colorante serían los óxidos de manganeso que se han disuelto perfectamente en el vidriado.

Como ya se comentó al principio, todas las piezas aparecen recubiertas de vidriado también por la cara menos importante (el interior en jarras y el exterior en platos), generalmente de color amarillo-miel y algunas veces blanco.

Este recubrimiento es también un típico vidriado al plomo, aunque, tanto si es de color blanco como si es amarillo-miel, presenta una composición totalmente distinta a la del vidriado principal.

Cuando es de color amarillo-miel, se trata de un vidriado transparente, con mayor cantidad de plomo y que debe su coloración en parte al hierro disuelto en forma iónica en él y en parte al color de la pasta cerámica sobre la que está aplicado. En el caso de estos vidriados aparecían también muchos cristales de feldespatos potásicos de neoformación, formados al enfriarse la pieza.

Respecto a los objetos de Córdoba y Madinat al-Zahra, entre los vidriados secundarios hay muchas menos diferencias de las que existían con las decoraciones principales.

Si el vidriado secundario es de color blanco, se encuentra también en su composición óxido de estaño, como opacificante, pero el resto de los porcentajes de los componentes es diferente de los que aparecían en el vidriado de la cara principal, lo que indica una receta de preparación del vidriado totalmente distinta. La proporción de arena ha sido menor y además ésta es menos pura, mezclándose incluso con arcilla, probablemente de la misma utilizada en las pastas por la proporción de calcio encontrada. Además del plomo, parece también que se ha podido utilizar feldespato de potasio al preparar el vidriado, para aportar este último elemento como fundente.

CONCLUSIONES

Entre las conclusiones más importantes que pueden desprenderse del estudio arqueométrico de estas cerámicas islámicas están la importancia de poder definir la composición de los esmaltes fabricados en Zaragoza durante el siglo XI, el que además éstos aparecen como característicos y diferentes a los de otras zonas de producción y el que pueden servir de patrones comparativos para definir el intercambio comercial y cultural con otras áreas.

Es importante destacar también que los vidriados que aparecen en la cerámica con decoración «verde y negro» son auténticos esmaltes (vidriados con óxido de estaño), descartando así la hipótesis de la utilización de engobes en la fabricación de este tipo de decoración, y comprobando su producción en todo al-Andalus desde el siglo X, lo mismo que en otras zonas de dominación musulmana (Egipto, Siria, Irán, etc.).

BIBLIOGRAFÍA

AGUAROD, M. C. y ESCUDERO, F.

(1991) La industria alfarera del barrio de San Pablo (siglos I-XIII). En *Zaragoza: Prehistoria y Arqueología*. Zaragoza: Ayuntamiento de Zaragoza. 44.

AGUAROD, M. C., ESCUDERO, F., GALVE, M. P. y MOSTALAC, A.

(1991) Nuevas perspectivas de la arqueología medieval urbana del período andalusí: la ciudad de Zaragoza (1984-1991). *Aragón en la Edad Media IX* (Universidad de Zaragoza), 445-491.

ALLAN, J. W.

(1971) *Medieval middle eastern pottery*. Oxford: University of Oxford.

ALLAN, J. W.

(1991). *Islamic ceramics*. Oxford: University of Oxford. 6.

BAZZANA, A. y PICÓN, M.

(1986) Ateliers producteurs et diffusion des céramiques verte y morado à l'époque du Califat de Cordoue. En *Histoire et Archéologie de l'habitat médiéval*. Lyon. 197-206.

KLEINMANN, B.

(1986) History and development of Early Islamic pottery glazes. En *Proceedings of the 24th International Archaeometry Symposium, 1984* (Eds. J. S. Olin, M. J. Blackman). Washington. 73-84.

MOSTALAC, A.

(1990) Los hornos islámicos de Zaragoza. En *Fours de Potiers et 'Testares' Médiévaux en Méditerranée Occidentale*. Madrid: Publicaciones de la Casa de Velázquez, Série Archéologie XIII, 63-74.

MOSTALAC, A.

(1995) Les fours islamiques de Saragosse. En *Le vert & le brun, de Kairouan à Avignon, céramiques du Xe au XVe siècle*. Marseille: Réunion des musées nationaux. 31-32.

MOSTALAC, A. y GALVE, M. P.

(1986) Excavaciones en *Caesaraugusta* (Zaragoza), 1985. *Museo de Zaragoza, Boletín*, no. 5, 424-429.

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE CUBIERTAS BLANCAS OPACAS MUSULMANAS DE LA VALENCIA MEDIEVAL (SS. X-XI)

por

J. COLL¹, P. BOTELLA², M. T. LARENA², M. T. DOMÉNECH³,
y E. AURA³

INTRODUCCIÓN

La introducción de la técnica de la loza estannífera en la península ibérica es todavía un tema controvertido. Mientras en Persia y Egipto sus inicios parece remontarse al siglo VIII y IX (Philon, 1980; Al-Hassan y Hill, 1986, su presencia en los yacimientos medievales andalusíes de cronologías altas ha sido discutida durante años, hasta el punto de generalizarse la creencia de que las cerámicas hispanomusulmanas blancas eran semilozas con engobe blanco bajo cubierta de plomo, suponiendo que el caolín era el soporte de la decoración (González Martí, 1944; Aguado, 1983). Como se ha expuesto recientemente (Gómez Martínez, 1993) esta interpretación, aplicada principalmente a la técnica de elaboración de las lozas califales decoradas en verde y manganeso, ha sido superada en parte gracias a la investigación desarrollada en las últimas décadas al demostrarse la existencia de verdaderas lozas estanníferas fechables a partir del siglo X para conjuntos de Madinat al-Zahra (Escudero, 1990), Alcalá la Vieja y Mértola (Berti y Mannoni, 1991). En el caso de Madinat Al-Zahra (González *et alii*, 1992) se ha propuesto que las cubiertas blancas se formaron combinando carbonato de plomo, sílice y dióxido de estaño, habiéndose sugerido al tiempo que la mala conservación de las cubiertas se debía a la existencia de carbonato de plomo libre en muchos de los vidrios blancos estudiados. Para momentos posteriores no hay duda en la extensión de la técnica estannífera en producciones de Mallorca (Berti, Rosselló y Tongiorgi, 1986),

1. Museo Nacional de Cerámica «González Martí». Ministerio de Cultura (Valencia).

2. Dpto. de Tecnología Cerámica. Escuela Cerámica de Manises (Valencia).

3. Dpto. de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Universidad Politécnica de Valencia.

Lérida (Gallart, Giralt y Miró, 1986) y Denia (Azuar, 1989; Gisbert, Azuar y Bruguera, 1991).

Actualmente, estos estudios se han visto incrementados con la aplicación de estrategias más completas y analizando principalmente productos de talleres conocidos como ilustra el proyecto de investigación dirigido por el Dr. M. Vendrell del Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals de la Universidad de Barcelona.

Con el fin de aportar nuevas luces al problema de la adopción y difusión de la loza estannífera en cronologías tempranas, decidimos analizar una serie de conjuntos cerámicos procedentes de la actual Comunidad Valenciana depositados en el Museo Nacional de Cerámica. Aunque en ningún caso son productos de talleres conocidos, pertenecen todos a yacimientos o contextos de cronología califal además de parecer a simple vista loza estannífera. Analizando este conjunto pretendemos aproximarnos a la técnica de fabricación de estas lozas y conocer su difusión en el área geográfica que nos ocupa.

Las muestras seleccionadas proceden de dos yacimientos:

— Almisserat, fortín militar del Valle de la Gallinera (Alicante) fechado entre los siglos IX y X (Bazzana, 1992, p. 400 y pl. CCXI).

Muestras:

Almisserat 1. Ref. 951/0096 (Bazzana, 1992, II, pl. CCXII, n.º 14). Pertenecientes a una escudilla de base anular, paredes convexas y labio exvasado, similar al tipo Madinat al-Zahra III (Escudero, 1990) o Bazzana 381 que ofrece decoración radial en verde y manganeso sobre un fondo blanco opaco.

Almisserat 2. Ref. 951/0094 (Bazzana, 1992, II, pl. CCXIII, n.º 14). Pertenecientes a una fuente de base anular, paredes convexas y labio engrosado, encuadrable en el tipo Madinat al-Zahra II o Bazzana 386, decorada en verde y manganeso con florones estilizados sobre un fondo verdoso con zonas ocre, pareciendo a simple vista un barniz plumbífero simple o pobremente estannífero.

— Valencia. El material procede de un expolio arqueológico y su entrada se registró en el MNC bajo la denominación «Entrega Lara». Una de las piezas del conjunto consiste en una fuente cóncava de base plana, tipo Madinat al-Zahra I o Bazzana 381, que ha tenido amplia difusión (Martínez Caviro, 1991; Al-Andalus, 1992) al representar un cervatillo en verde y manganeso. De este conjunto se han analizado siete piezas pertenecientes a fuentes cóncavas de labio recto y base anular asimilables al tipo Bazzana 383, con decoración en verde y manganeso de cenefa de semicírculos, todos con cubiertas blancas brillantes de aspecto claramente estannífero, exceptuando algunas con fuertes carbonataciones superficiales.

ESTUDIO MORFOLÓGICO, MINERALÓGICO Y ANÁLISIS QUÍMICO

Una serie de muestras extraídas de los fragmentos en estudio de referencia: Almisserat 1-951/0096, Almisserat 2-951/094, Lara.L-1, Lara.L-2, Lara.L-3, Lara.L-4, Lara.L-5, Lara.L-6, Lara.L-7 y Lara.L-8 se han empleado en la determinación de la composición química de las cubiertas y en el estudio es-

tratigráfico y mineralógico por microscopía óptica y SEM/EDX, siendo preparadas en forma de sección de corte transversal pulido. Para la determinación de la composición química de las cubiertas y pastas, se han preparado dos muestras para cada uno de los fragmentos arqueológicos en estudio.

De entre los métodos de análisis aplicables en el estudio de objetos arqueológicos la microscopía electrónica de barrido, combinada con la espectrometría de rayos X (SEM/EDX) resulta particularmente interesante por permitir la determinación simultánea de la composición química del material y su estudio morfológico. Además, esta técnica ofrece la posibilidad de poder efectuar microanálisis de fases microscópicas, lo cual la convierte en una técnica de análisis estructural. En este trabajo se ha utilizado un Microscopio Electrónico de Barrido marca JEOL modelo JSM 6300 con sistema de microanálisis Link-Oxford-Isis, operando con una tensión de filamento de 20 kv.

Se ha llevado a cabo una analítica completa sobre las cubiertas de los fragmentos Almisserat 2 (sólo el anverso: Alm-a), Lara.L-1 (anverso y reverso: respectivamente L-1a y L-1r) y Lara.L-8 (sólo reverso: L-8r). Los vidriados se extrajeron de las piezas por raspado con una espátula fina de acero bajo la lupa binocular. La realización cuidadosa de esta operación permite obtener muestras de las cubiertas exentas de partículas del soporte, tal y como comprobaron González Vélchez *et al.* (1988). Una cantidad de muestra en torno a 0,1000-0,2000 g se porfiriniza y se somete a fusión alcalina con una mezcla equimolecular de carbonatos de sodio y potasio, según un procedimiento optimizado de Bennet & Redd (1971). Tras disolver el fundido con ácido clorhídrico, se filtra para separar un precipitado de $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ y una disolución. El contenido en sílice se determina gravimétricamente, mientras que en la disolución se evalúa la presencia de calcio, magnesio, hierro, aluminio, estaño, cobalto, cobre, manganeso, plomo y cinc por espectroscopía de absorción atómica (EAA), utilizando un instrumento Phillips PU-9100 X. Para determinar el contenido en alcalinos se llevó a cabo un segundo análisis mediante ataque y disolución con una mezcla de ácidos nítrico y fluorhídrico (Bennet & Redd, 1971). En dicha disolución se cuantificó el sodio y potasio por fotometría de emisión, utilizando el mismo aparato funcionando como fotómetro de llama. Por desgracia, sólo se dispuso de suficiente cantidad de muestra para llevar a cabo esta última determinación en una de las cuatro analizadas. En las restantes se estableció conjuntamente el contenido en óxidos de sodio y potasio por diferencia a partir del peso de muestra y de la suma de los porcentajes de los elementos determinados expresados como óxidos, si bien, cabe apuntar que los resultados estimados por este procedimiento indirecto concuerdan con el obtenido experimentalmente.

Se ha efectuado un estudio mineralógico mediante Difracción de rayos X de la pasta a nivel interno de los fragmentos Almisserat 1 y Almisserat 2 y de la capa de pasta situada en la interfase con la cubierta del anverso del fragmento de Almisserat 1. Se ha utilizado un espectrómetro de difracción de rayos X, Siemens D-500, operando a 40 kv y 20 mA. Las muestras han sido preparadas mediante el procedimiento habitual requerido en el método de polvo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución estratigráfica de las cubiertas:

Anversos.

El examen en sección transversal mediante MO y SEM ha mostrado una clara diferencia a nivel morfológico entre los fragmentos de la serie de referencia Almisserat y los fragmentos de la serie de referencia Lara. Las cubiertas de los fragmentos de Almisserat 1 (figura 1) se presentan con aspecto translúcido y tonalidad melada lo que indica la escasa presencia de opacificante, puesta de manifiesto en el examen mediante SEM/EDX. Se observa la presencia de burbujas de tamaño medio a grande, presencia de fracturas perpendicularmente a la superficie y de granos subangulares de feldespato potásico. La cubierta presenta una superficie muy irregular. El examen de la pasta de la pieza de Almisserat 1 en la zona próxima a la cubierta muestra un aumento en el número y tamaño de granos de desgrasante cuarcífero, así como una tonalidad más clara en la matriz arcillosa. Tal vez la explicación a este hecho podamos encontrarla en la pervivencia de una tecnología antigua de tradición oriental, ya que cubiertas vítreas de color blanco opaco brillante formadas por una capa vítrea transparente sobre un cuerpo de cuarzo finamente molido se documentan en la fayenza egipcia (Kaczmarczyk y Hedges, 1983, p. 145). Tal solución técnica se substituye en el medievo por los esmaltes estanníferos obtenidos con casiterita (Caiger Smith, 1985). También ha resultado interesante el examen de las zonas de cubierta vítrea correspondientes a la decoración en negro. En la mayor parte de casos se observa la presencia de agregados y granos aislados de pigmento negro, el cual no ha llegado a difundirse en el vidriado, que se sitúan en la interfase de la cubierta con la pasta, lo cual sugiere la realización de estas piezas mediante la técnica de ejecución bajo cubierta. El estudio mediante microanálisis de rayos X efectuado ha confirmado este primer resultado extraído del examen mediante microscopía óptica a bajos aumentos, y ha evidenciado la presencia de Mn en las zonas ricas en pigmento.

La serie de fragmentos de referencia Lara presentan cubiertas con un aspecto muy cohesionado en toda su masa (figura 2), apreciándose burbujas de tamaño medio a grande y fracturas orientadas perpendicularmente a la superficie externa. Otro hecho destacable es la presencia de fases cristalinas de casiterita (SnO_2) de hábito acicular y un tamaño medio de 2 μm en su dimensión máxima, que se encuentran distribuidas heterogéneamente en la cubierta. Se observa también (véase figura 3) la aparición de granos subangulares a redondeados de gran tamaño con tendencia a presentarse en la zona más externa de la cubierta que en algunos casos, como en el fragmento L-8, llegan a constituir una capa superficial. El microanálisis de rayos X ha permitido establecer su composición química encontrándose que en la mayoría de casos presentaban estequiometría de feldespato potásico y en otros, más aisladamente, de sílice. En este sentido, la presencia de cuarzo libre en el vidrio es habitual cuando el barniz no ha sido fritado previamente (Norton, 1960). Finalmente la distribución del pigmento en la cubierta vítrea, en aquellas zonas donde se aplicaron

trazos, se halla en la mayor parte de casos en la zona próxima a la interfase con la pasta.

Reversos.

En el examen inicial mediante MO no se han encontrado diferencias morfológicas reseñables en los reversos de ambas series estudiadas, Almisserat y Lara. Se identifican burbujas de pequeño tamaño generadas en la zona de contacto o interfase con la pasta a consecuencia de reacciones con las fases minerales presentes en la pasta producidas durante la cocción. También se aprecian redes localizadas de fracturas que suelen originarse en la superficie pero que pueden extenderse hasta la interfase con la pasta y granos de tamaño medio y de aspecto subredondeado de composición silícea y de feldespato potásico. La realización de microanálisis de rayos X (SEM/EDX) en la matriz vítrea pone de manifiesto la naturaleza plúmbea de estas cubiertas.

Composición química de las cubiertas.

La obtención de resultados representativos de la composición química de las cubiertas ha revestido una mayor complejidad dado el pequeño tamaño de los fragmentos, que limita la cantidad de muestra que puede ser extraída. En aquellos casos en los que ha sido posible tomar una mayor cantidad de muestra se ha efectuado el análisis cuantitativo mediante EAA. La información se ha completado realizando análisis semicuantitativo mediante SEM/EDX. Las tablas 1 y 2 resumen los resultados obtenidos.

1.— Naturaleza de las cubiertas: Análisis químico.

En lo referente a los datos aportados por los análisis químicos (EAA; véase tabla 1), cabe separar dos grupos de cubiertas: vidriados melados, procedentes de los reversos de los fragmentos estudiados y del anverso del Almisserat 1 y vidriados opacos blancos, procedentes de los anversos de las piezas de la serie Lara y Almisserat 2. En las cubiertas meladas, como cabría esperar, los componentes mayoritarios son los óxidos de plomo (41,99-47,77%) y de silicio (35,44-39,45%). El resto de los elementos determinados muy posiblemente provengan de impurezas presentes en las materias primas empleadas en la preparación de las cubiertas, en especial en la sílice (arenas sedimentarias). La presencia de cinc en algunos de los vidriados se justifica por su parentesco geoquímico con el plomo (fundamentalmente galena y cerusita). Respecto a los vidriados opacos, y aunque presentan igualmente sílice y óxido de plomo como componentes mayoritarios, su composición es apreciablemente distinta respecto de las cubiertas meladas. De un lado, el contenido en fundente plúmbico de estos vidriados blancos es mucho menor (27,66-28,95%), a la vez que el porcentaje de óxido de silicio resulta claramente superior (55,11-57,08%). Además, en las cubiertas blancas aparece óxido de estaño en cantidades apreciables (2,72-5,08%), existiendo una proporcionalidad entre el carácter opaco de la cubierta y la concentración de estaño en la misma. Se trata pues de vidriados de menor fundencia, mayor viscosidad en fundido (por su mayor contenido en sílice), en los que la relación PbO/SnO_2 oscila de 7:1 (muestra Almisserat 2a, cubierta vítrea translúcida de color blanco amarillento) a

3,7:1 (L-1a, cubierta vítrea opaca blanca). Finalmente, los demás elementos detectados en el análisis de las cubiertas blancas proceden, con toda seguridad, de impurezas aportadas por las materias primas empleadas en la elaboración de estos esmaltes.

Análisis mineralógico.

El estudio llevado a cabo se ha completado con el análisis mineralógico de las pastas de los fragmentos de la serie Almisserat, con el propósito de determinar posibles diferencias composicionales entre la capa de pasta situada junto a la interfase con la cubierta y la pasta del interior del fragmento. Los difractogramas obtenidos en la pasta presentan señal intensa de cuarzo, señal moderada de gehlenita y señales débiles de dióxido, plagioclasas, wollastonita y hematita. El difractograma obtenido en la capa situada junto a la interfase correspondiente al fragmento de referencia Almisserat 1 presenta señal muy intensa de cuarzo, señal moderada de gehlenita y señal débil de hematita y wollastonita. Estos resultados confirman la mayor presencia de desgrasante de cuarzo existente en esta zona de la pasta próxima a la interfase, pero no parecen indicar diferencias mineralógicas importantes respecto de zonas situadas más internamente en la pasta.

CONCLUSIONES

El conjunto analizado ofrece nuevamente pruebas de la extensión de la técnica del esmalte estannífero durante el Califato cordobés, incluso en zonas alejadas de las ciudades áulicas, como demuestran las muestras procedentes de la ciudad de Valencia. Sin embargo, las muestras procedentes de Almisserat evidencian que no todas las cerámicas que a simple vista parecen poseer una cubierta estannífera, han sido realizadas según esta técnica. En concreto la muestra Almisserat 1 parece presentar un vidriado de plomo sobre un engobe con elevado contenido en sílice. La muestra Almisserat 2, a simple vista verde y manganeso sobre melado, presenta sin embargo bajas proporciones de Sn.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUADO, José; BOSCH, Carmen; CHINCHILLA, Marina, *et al.*
(1990) El testar del Puente de San Martín (Toledo). En *Fours de potiers et «testares» médiévaux en Méditerranée Occidentale*, Pub. Casa de Velázquez, Série Archéologique XIII, pp. 117-130.
- AL-ANDALUS
(1992) Al-Andalus. *Las artes islámicas en España*. Edición al cuidado de Jerilyn D. Dodds. The Metropolitan Museum of Art. Ed. El Viso, Madrid.
- AZUAR, R.
(1989) *Dénia islámica. Arqueología y poblamiento*. Instituto de Cultura Juan Gil-Albert. Diputación de Alicante.

BAZZANA, A.

(1990) Ensayo de tipología de la cerámica musulmana del antiguo Sharq-al-Andalus. En LERMA; P. GUICHARD; A. BAZZANA; M. P. SOLER; J. NAVARRO; C. BARCELÓ. *La cerámica islámica en la ciudad de Valencia II. Estudios*. Ajuntament de València, pp. 71-95.

BAZZANA, A.

(1992) *Maisons d'Al-Andalus. Habitat médiéval et structures du peuplement dans l'Espagne Orientale*. Coll. Casa de Velázquez, Madrid.

BENNET, H. & REDD, R. O.

(1971) *Chemical Methods of Silicate Analysis*. Edit. Ac. Press. London.

BERTI, Graziella; MANNONI, Tiziano

(1991) Ceramiche medievali del Mediterraneo Occidentale: Considerazioni su alcune caratteristiche tecniche. A *Cerâmica Medieval no Mediterrâneo Ocidental* (Lisboa, 1987), pp. 163-173.

BERTI, Graziella; ROSSELLO BORDOY, Guillermo; TONGIORGI, Enzo

(1986) Alcuni Bacini ceramici di Pisa e la corrispondente produzione di Maiorica nel secolo XI. *Archeologia Medievale*, 13, pp. 97-115.

CAIGER SMITH, Alan

(1985) *Lustre Pottery. Technique Tradition and Innovation in Islam and the Western World*, Ed Faber and Faber, p. 28.

CANO PIEDRA, Carlos

(1990) Estudio sistemático de la cerámica de Madinat Ilbira, *Cuadernos de la Alhambra*, 26, pp. 25-68.

CANO PIEDRA, Carlos

(1993) La cerámica de Madinat Ilbira. En *La Cerámica altomedieval en el sur de Al-Andalus*, pp. 273-283.

CURTO, A.; LORIENTE, M.; ROSARIO, M.; ROS, E.

(1985) Els nivells islàmics en l'excavació de la Pl. de Nostra Senyora de la Cinta o de l'Olivera de la ciutat de Tortosa (Tarragona). *I Congreso de Arqueología Medieval Española*, (Huesca 1985), III, pp. 99-112.

ESCUADERO ARANDA, José

(1990) La cerámica decorada en «verde y manganeso» de Madinat Al-Zahra. *Cuadernos de la Alhambra*, 2, Córdoba 1988-90, pp. 127-161.

GALLART, J.; GIRALT, J.; MIRÓ, J. M.

(1986) Excavaciones en el lado Norte de la iglesia de Sant Martí (Lleida). Epoca andalusí y medieval. *I CAME*, Zaragoza. tom. IV, pp. 313-330.

GISBERT, J. A.; AZUAR, R.; BRUGUERA, V.

(1991) La producción cerámica en Daniya. El alfar islámico de la Avda. Montgó/Calle Teulada (Denia, Alicante), *IV CICMMO*, Mértola, pp. 247-262.

GÓMEZ MARTÍNEZ, Susana

(1993) Variantes técnicas y formales de la cerámica «verde y morado» de Mértola (Portugal). *IV Congreso de Arqueología Medieval Española (Alicante 1993)*, III, pp. 779-786.

- GONZÁLEZ GARCÍA, F.; GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, M.; GONZÁLEZ VÍLCHEZ, C.; VALLEJO, A.
(1992) Estudio arqueométrico de algunas cerámicas medievales de Madinat Al-Zahra (Córdoba). *Bol. Soc. Esp. Cerámica y Vidrio*, 31, 6, pp. 491-498.
- GONZÁLEZ MARTÍ, M.
(1944) *Cerámica del Levante Español, siglos medievales*. Ed. Labor, tomo 1: Loza, pp. 53-56.
- GONZÁLEZ VÍLCHEZ, C.; GONZÁLEZ GARCÍA, F.; GARCÍA RAMOS, G. y GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, M.
(1988) Estudio arqueométrico de pigmentos de algunas piezas cerámicas de Cerro Macareno (Sevilla). *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vid.*, 27 (1988), pp. 73-80.
- GUICHARD, Pierre
(1990) La cerámica con decoración «verde y manganeso». En J. V. LERMA; P. GUICHARD; A. BAZZANA; M. P. SOLER; J. NAVARRO; C. BARCELÓ. *La cerámica islámica en la ciudad de Valencia II. Estudios*. Ajuntament de València, pp. 71-95.
- HASSAN, Ahmad Y. al; HILL, Donald R.
(1986) *Islamic Technology. An Illustrated History*. Cambridge University Press, Unesco, Paris, p. 169.
- KACZMARCZYK, A.; HEDGES, R. E. M.
(1983) *Ancient Egyptian Faience. An Analytical Survey of Egyptian Faience from Predynastic to Roman Times*. Aris & Philips Ltd. Warminster, 587, p. 145.
- MARTÍNEZ CAVIRO, Balbina
(1991) *Cerámica andalusí y mudéjar*. Madrid.
- NORTON, F. H.
(1960) *Cerámica para el artista alfarero*. De. Omega, Barcelona.
- PHILON, Hélien
(1980) Early islamic Ceramics. Ninth to Late Twelfth Centuries. *Islamic Art Publications*, 323 pp.
- RAFFAILHAC-DESFOSSÉ, Claire
(1994) *Cerámiques glaçurées médiévales. Recherche de données physiques sur les techniques de fabrication et sur l'altération*. Thèse de Doctorat, Université Michel de Montaigne-Bordeaux III. Ined.
- VALDÉS, Fernando
(1986) La cerámica del tipo verde y manganeso: aparición, difusión y primeras influencias. En *Actas I Congreso de Arqueología Medieval Española IV (Huesca, 1985)*, pp. 269-281.

Caracterización química de cubiertas blancas musulmanas de la Valencia medieval

Tabla 1

Muestra	Alm-2a	L-1a	L-1r	L-8r
SiO ₂	57,08	55,11	39,45	35,44
Al ₂ O ₃	4,28	4,81	6,63	4,37
CaO	2,06	2,28	4,30	3,12
MgO	0,10	0,36	0,82	0,83
Fe ₂ O ₃	0,74	0,79	1,85	1,68
Co ₂ O ₃	0,00	trazas	trazas	0,91
CuO	trazas	trazas	trazas	trazas
MnO	0,00	0,00	0,00	0,47
SnO ₂	2,72	5,08	0,00	0,00
PbO	28,95	27,66	41,99	47,77
ZnO	0,00	trazas	0,76	1,66
Na ₂ O	—	0,51	—	—
K ₂ O	—	3,40	—	—
NaKO	4,07	—	4,20	4,02

Resultados del análisis químico por EAA de los vidriados Alm-2a, L-1a, L-1r y L-8r.

Tabla 2

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SnO ₂	PbO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
Alm-1	45,35	1,78	2,79	0,4	0,79	—	40,69	1,04	3,51	—
Alm-2	37,92	3,62	4,52	0,12	1,41	0,19	49,32	1,34	1,56	—
L-1a	58,80	10,24	3,79	0,25	1,3	5,58	12,43	3,67	4,01	—
L-1r	56,59	11,29	4,69	—	5,65	—	14,19	3,63	3,17	0,79
L-2a	47,73	4,69	3,89	0,15	0,27	1,99	37,05	1,12	3,12	—
L-2r	38,37	3,22	3,43	0,39	1,71	—	49,24	1,22	2,43	—
L-3a	69,63	10,77	5,49	0,79	0,71	4,38	2,87	1,83	3,47	—
L-3r	40,21	5,68	10,86	—	3,54	—	36,33	0,27	2,62	0,48
L-4a	42,31	3,94	3,96	0,21	0,32	6,74	37,87	0,91	2,83	—
L-4r	33,29	4,97	5,16	0,86	2,75	0,86	47,67	1,21	2,74	0,48
L-5a	68,16	9,44	7,5	0,08	0,52	0,66	8,52	1,24	3,9	—
L-5r	47,68	5,65	6,55	1,84	2,38	1,28	30,33	0,91	3,38	—
L-6a	51,11	7,84	13,61	0,97	1,95	11,43	5,56	4,30	3,23	—
L-7a	50,89	15,22	9,02	1,44	3,56	0,05	11,32	4,55	3,33	—
L-7r	56,95	10,05	5,85	0,42	2,73	0,57	18,23	1,25	3,58	0,36
L-8a	40,81	5,91	3,36	0,06	0,98	15,10	30,41	1,16	2,24	—
L-8r	46,05	1,73	3,19	0,46	1,18	—	41,35	1,13	4,91	—

Cerámica califal: análisis químico de las cubiertas blancas y meladas (MEB/EDX).



Fig. 1. Microfotografía realizada con luz reflejada (campo oscuro; $\times 100$) de la sección transversal de la cubierta del anverso de la pieza Almisserat 1.

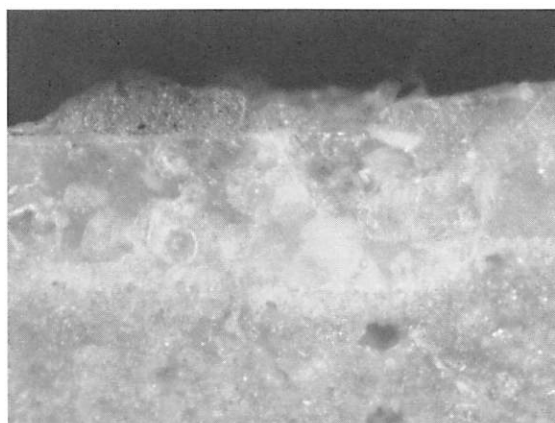


Fig. 2. Microfotografía realizada con luz reflejada (campo oscuro; $\times 100$) de la sección transversal de la cubierta del anverso de la pieza Lara 2.

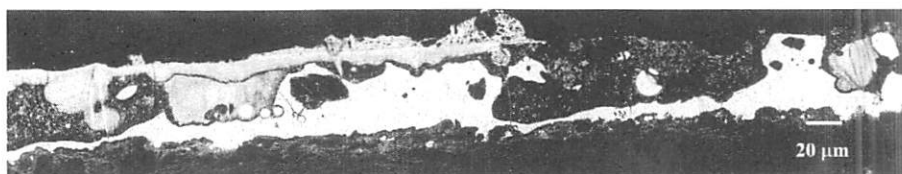


Fig. 3. Microfotografía en electrones retrodispersados (SEM/EDX) de la sección transversal de la cubierta del anverso de la pieza Lara 8.

PRIMEROS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN ARQUEOMÉTRICA DE LA CERÁMICA NUMANTINA DEL SIGLO I A.C.

por

M. GARCÍA HERAS¹ y R. FERNÁNDEZ RUIZ²

RESUMEN

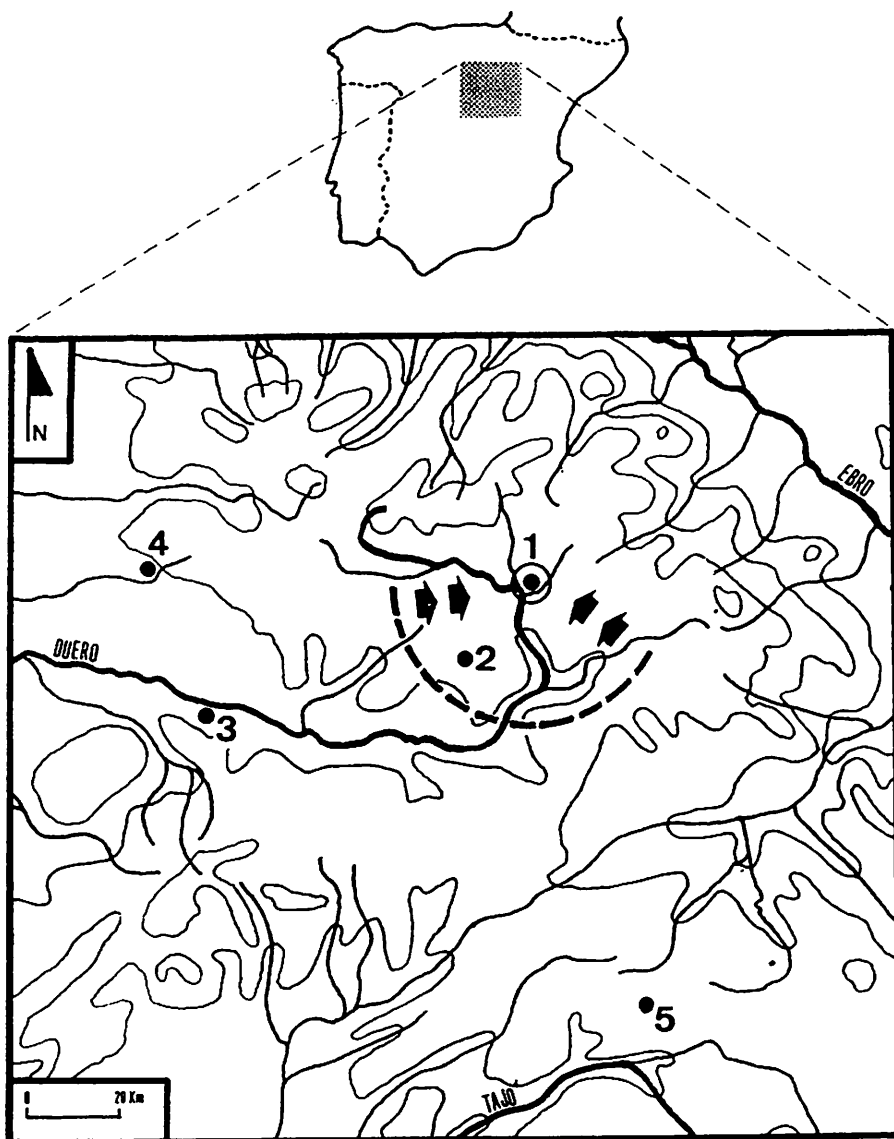
La presencia de cerámicas con motivos decorativos de tipo numantino en contextos arqueológicos del siglo I a. C. de fuera del área del Alto Duero, se ha venido interpretando como fruto de un incipiente comercio o intercambio de cerámica. Los resultados obtenidos en la caracterización arqueométrica mediante Fluorescencia de rayos x por reflexión total (TXRF) de un número importante de muestras procedentes tanto de la ciudad de Numancia, como de otros yacimientos de dentro y fuera del Alto Duero, obligan a realizar un replanteamiento de la interpretación tradicional, debido a que las cerámicas analizadas no procedentes de esta área son incompatibles, desde un punto de vista composicional, con las halladas en la propia Numancia o en otros yacimientos del Alto Duero.

1. INTRODUCCIÓN

A partir de los abundantes materiales recuperados en las excavaciones arqueológicas de principios de siglo efectuadas en la ciudad de Numancia (Garray, Soria) fueron definidas, sobre la base de criterios crono-tipológicos y estéticos, toda una serie de producciones cerámicas conocidas como numantinas. Dichas producciones aparecían, además, en otros yacimientos del entorno geográfico del Alto Duero. Aunque a lo largo de los años distintos trabajos han tratado de llevar a cabo un ordenamiento cronológico de estos materiales, en-

1. Departamento de Prehistoria. Facultad de Geografía e Historia. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

2. Servicio Interdepartamental de Investigación (S.I.d.I.). Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma. 28049 Cantoblanco, Madrid.



1. Numancia (Garray, Soria)
2. Castiliterreño (Izana, Soria)
3. Las Quintanas y Cuesta del Moro (Langa de Duero, Soria)
4. Necrópolis de El Pradillo (Pinilla Trasmonte, Burgos)
5. El Palomar (Aragoncillo, Guadalajara)

Fig. 1. Situación de los yacimientos en los que se han tomado muestras cerámicas.

frentándose con los inconvenientes propios de una información dispersa y desarticulada que había ido generándose por los distintos equipos que habían intervenido en el yacimiento, no será hasta la publicación del trabajo de Wattenberg (1963) cuando comiencen a admitirse unas fechas tardías centradas en el siglo I a. C. para la mayoría de estas producciones, así como la existencia de tres ciudades superpuestas: una anterior al 133 a. C. y destruida en el cerco de Escipión, otra perteneciente al siglo I a. C. y, finalmente, otra de época imperial.

Sin embargo, y a pesar de estos trabajos, todavía no se conocía cómo se articulaban estas producciones en el territorio mencionado, cuáles eran sus centros de manufactura, sus áreas de distribución o qué procesos tecnológicos habían tenido lugar en su fabricación. Por ello, a lo largo de los últimos años, se ha iniciado el estudio sistemático de estas producciones a través de distintas técnicas de caracterización, con el fin de intentar dar respuesta a algunos de estos interrogantes (García Heras, 1997). Por otro lado, tampoco se conocía si la presencia de cerámicas con motivos decorativos numantinos, aparecidas en yacimientos de fuera del Alto Duero, procedían efectivamente de este territorio, pudiendo ser consideradas como un indicador de un incipiente comercio de cerámica o si, por el contrario, se trataba de imitaciones manufacturadas en otros contextos. Es en este último aspecto en el que se centra esta comunicación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS DE ANÁLISIS

Se han analizado un total de 121 fragmentos cerámicos procedentes de 5 yacimientos arqueológicos: 83 de Numancia (Soria), 17 de Izana (Soria), 5 de Langa de Duero (Soria), 11 de la necrópolis de El Pradillo (Pinilla Trasmonte, Burgos) y 5 de El Palomar (Aragoncillo, Guadalajara). Los dos primeros se ubican en el Alto Duero, estando Izana dentro del área inmediata de influencia de la ciudad de Numancia, mientras que los tres restantes se sitúan fuera de esta región geográfica (Figura 1).

Las muestras se han analizado mediante Fluorescencia de rayos x por reflexión total (TXRF) siguiendo el protocolo analítico publicado en García Heras *et al.* (1997). El equipo utilizado ha sido un espectrómetro SEIFERT Modelo EXTRA-II, con dos tubos de foco fino de Mo y W operando a 50 kV y 30 mA y un detector de Si (Li) de 80 mm² de área, con una resolución de 157 eV a 5,9 keV (Mn K alfa). Todas las muestras se han obtenido por medio de un taladro de acero con una deposición electrolítica de diamante en el corte (García Heras, 1997, 94-95). Para la interpretación de los perfiles composicionales semi-cuantitativos obtenidos mediante TXRF para los siguientes 16 elementos: As, Cr, Ni, Rb, Sr, Zn, Al, Ba, Ca, K, Mn, Ti, V, Cu, Ga e Y, se han utilizado tres técnicas exploratorias de análisis multivariante: Análisis cluster, Análisis de Componentes Principales y Análisis Discriminante, aunque los resultados de este último no se muestran en esta comunicación. Estos análisis se han llevado a cabo a partir de la transformación logarítmica de las concen-

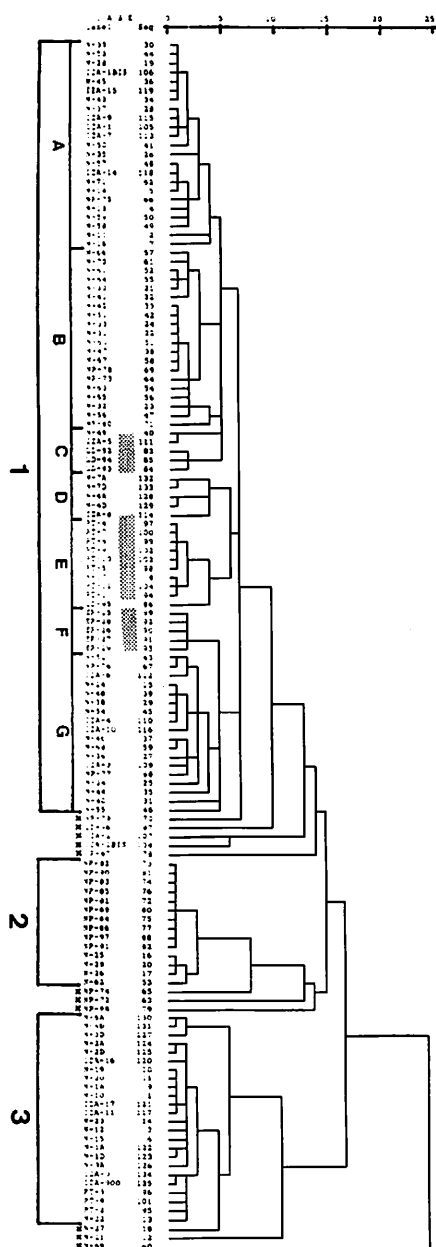


Fig. 2. Dendrograma resultante del Análisis cluster utilizando el método del centroide y matriz de distancias euclídeas al cuadrado. Los números 1, 2 y 3 señalan las agrupaciones principales. Las muestras con una x se consideran «outliers». Con trama, Las agrupaciones que contienen las muestras procedentes de Langa de Duero, la necrópolis de El Pradillo y El Palomar.

traciones elementales, con el fin de compensar las diferencias de magnitud entre los valores de los elementos mayores y trazas en el cálculo de los coeficientes de similaridad (Bishop y Neff, 1989, 63).

3. DISCUSIÓN

El Análisis cluster, utilizando la distancia euclídea al cuadrado y el método de aglomeración del centroide, proporciona un dendrograma en el que puede apreciarse, en líneas generales, la existencia de tres grandes agrupaciones y de 11 «outliers» (Figura 2). No obstante, en la agrupación situada a la izquierda, se distinguen 7 subgrupos más pequeños (Figura 2, 1A a 1G). Dentro de estos conjuntos, se aprecian algunos aspectos de interés. Por ejemplo, y aparte de las agrupaciones compuestas indistintamente por muestras procedentes de Numancia e Izana, en el grupo 1C se asocian 3 de las 5 muestras de Langa de Duero, en el 1E la mayoría de las cerámicas procedentes de la necrópolis de El Pradillo, mientras que en el grupo 1F aparecen todas las muestras del yacimiento de El Palomar.

Esta situación se refleja igualmente en el Análisis de componentes principales, realizado con el fin de contrastar los resultados del Análisis cluster. En este análisis, los tres primeros componentes explican el 77,08% de la variación total de los datos. Con respecto al primer componente, que explica un 56,17 % de la variación, los elementos Ca y Mn se correlacionan positivamente con él, mientras que, de manera negativa, lo hacen el Rb, Al, Ti, Cr, K y Ga. En el segundo componente, con un 13,71 % de la variación de los datos, son el V, Ga y Rb los elementos que se correlacionan de forma positiva, mientras que en los casos del Ca y el Mn, la correlación es negativa. Por último, en el tercer componente, que sólo explica un 7,2 % de la variación, los elementos As, Cu y Ga se correlacionan positivamente, en tanto el Sr, Ca, Ba y K lo hacen de manera negativa.

En general, este análisis corrobora los resultados obtenidos en el Análisis cluster, clasificándose también las muestras en 9 agrupaciones distintas, aunque en este caso sólo se distinguen 7 «outliers» (Figura 3). De todos modos, las agrupaciones presentan algunas variaciones con respecto al análisis anterior. En el grupo G-2A (1E del Análisis cluster), aparecen ahora todas las muestras de la necrópolis de El Pradillo. De todos ellos, es el segundo grupo con las mayores concentraciones medias en Ca. Por otro lado, en el grupo G-4B y como ya ocurría en el 1F del Análisis cluster, se clasifican todas las muestras procedentes del yacimiento de El Palomar, que aparecen bien representadas en el tercer componente, mientras que la agrupación G-7 se compone de los mismos 5 ejemplares que se asociaban al 1C del cluster, en el que tres de ellos procedían de Langa de Duero. En este grupo también aparecen una muestra de Numancia y otra de Izana. Dado su reducido tamaño, resulta difícil considerar si puede ser tratado como una agrupación homogénea o, simplemente, como una serie de «outliers» próximos en el espacio n-dimensional. En cualquier caso, las muestras N-49 e IZA-5 presentan un mayor contenido en Rb, K y Cu y

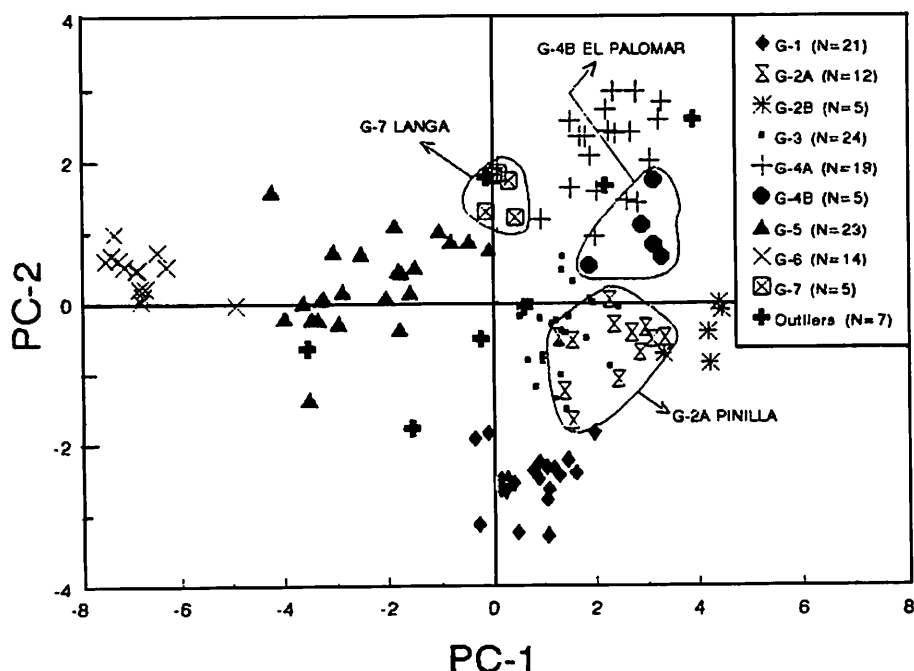


Fig. 3. Análisis de componentes principales. Representación de las muestras y sus agrupaciones, según la puntuación en los dos primeros componentes.

una concentración menor en Al, Ca, Ti y Ga, en relación a las cerámicas de Langa de Duero. Asimismo, las dos muestras restantes procedentes de este yacimiento no se asocian a este grupo. Una de ellas (LD-95) se agrupa al 1E del Análisis cluster y al G-3 del Análisis de componentes principales, como consecuencia de su mayor contenido en Ca; la otra (LD-96) puede ser considerada un «outlier» de la agrupación G-7, en la que se detectaban, por medio de otras técnicas, indicios de sobrecoCCIÓN (García Heras, 1997, 186).

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la caracterización de la producción cerámica numantina del siglo I a. C. han permitido la aproximación a algunos de los interrogantes que tenía planteados su investigación.

La presencia de distintas subagrupaciones en el conjunto de muestras analizadas, evidencia una genética distinta de la materia prima con la que fueron manufacturadas las cerámicas de cada una de ellas. Este aspecto pone de manifiesto que la cerámica numantina sólo se circunscribe al área del Alto Duero en lo que puede tipificarse como un modelo de distribución local o, a lo sumo, regional, ya que las muestras procedentes de contextos arqueológicos

del siglo I a. C. de fuera de esta zona geográfica no se asocian, en términos composicionales, a las procedentes de yacimientos como Numancia o Izana. Por lo tanto, las cerámicas que presentan motivos decorativos numantinos deben ser consideradas como imitaciones locales dentro de un contexto socio-económico y cultural en el que la producción numantina gozaba de una especial aceptación, hasta el punto de ser ampliamente conocida fuera de sus áreas de distribución. Por otro lado, la identificación de distintos grupos composicionales en las cerámicas procedentes de Numancia e Izana, puede relacionarse con la existencia de distintas unidades productivas correspondientes a un solo taller o a varios de ellos operando en distintos períodos del siglo I a. C. No obstante, es importante resaltar que, mediante criterios composicionales, no han podido discriminarse las cerámicas de uno u otro yacimiento, puesto que ambas se asocian a las mismas agrupaciones. En todo caso, cualquier intento de generalización a partir de un número de muestras todavía reducido debe admitirse con limitaciones, debido a que el análisis de nuevos fragmentos procedentes de otras áreas geográficas, podría hacer variar estas conclusiones.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha realizado dentro del Plan Director del yacimiento de Numancia (Soria) patrocinado por la Dirección General de Patrimonio y Promoción Cultural de la Junta de Castilla y León. De modo especial se agradece a su director, el Dr. Alfredo Jimeno Martínez, su constante esfuerzo e interés para que esta investigación se llevase a cabo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BISHOP, R. L. y H. NEFF

(1989) Compositional data analysis in archaeology. En R. O. Allen (ed.): *Archaeological Chemistry IV*, American Chemical Society, Advances in Chemistry Series 220, Washington, 57-86.

GARCÍA HERAS, M.

(1997) *Caracterización arqueométrica de la producción cerámica numantina*. Tesis Doctoral inédita, Universidad Complutense, Madrid.

GARCÍA HERAS, M.; FERNÁNDEZ RUIZ, R. y TORNERO, J. D.

(1997) Analysis of archaeological ceramics by TXRF and contrasted with NAA. *Journal of Archaeological Science*, 24 (11), 1003-1014.

WATTENBERG, F.

(1963) *Las cerámicas indígenas de Numancia*. Biblioteca Praehistórica Hispana, IV, Madrid.

CARACTERIZACIÓN DE CERÁMICAS COMUNES ROMANAS DE EXTREMADURA

por

José Antonio ESTÉVEZ MORALES

RESUMEN

El estudio arqueométrico de un grupo de cerámicas comunes romanas procedentes de un vertedero de la ciudad de Mérida, ha proporcionado unos resultados químicos, mineralógicos y petrográficos (criterios de evaluación) que, conjugados con los datos arqueológicos (criterios de validación), permiten plantear la hipótesis de que nos encontramos ante un material de origen autóctono. Especialmente si tenemos en cuenta la naturaleza granítica (muy probablemente una granodiorita), con algunos aportes metamórficos, observada en las láminas delgadas realizadas, perfectamente relacionable con la geología de las inmediaciones de Mérida.

INTRODUCCIÓN

Esta comunicación tiene su origen en un trabajo presentado como Tesis de Licenciatura, bajo la dirección de D. Enrique Cerrillo Martín de Cáceres y D^a. María Jesús Liso Rubio en la Universidad de Extremadura. Dicho trabajo ha tenido como objeto de estudio un grupo de cerámicas comunes romanas altoimperiales de un vertedero de la ciudad de Mérida (Alvarado y Molano, 1994). La justificación de esta elección venía dada por el interés en ir aumentando nuestro conocimiento sobre esta clase cerámica, de las menos estudiadas pese a su abundancia, y por el hecho de que estuviéramos ante un material de presumible origen local por defectos de elaboración y cocción, entre otros.

El vertedero se localizó durante unas intervenciones arqueológicas del año 1990 en una zona al sureste de Mérida (fig. 1), en la que además aparecieron toda una serie de estructuras, posiblemente productivas, tanto al interior como al exterior de la muralla fundacional, proporcionando al barrio un claro carácter artesanal. A todo ello hay que unir, en 1992, la aparición de la planta de

un posible horno y parte de otra estructura de igual función. En cuanto al material cerámico extraído del vertedero (fosa colmatada por la deposición de escombros, mezclados con carbones, estucos y arenas) estaba compuesto por cerámicas comunes, paredes finas, lucernas, algunas sigillatas gálicas e hispánicas, atifles, terracotas y pesas de telar. La propuesta cronológica se realizó a partir de las formas aparecidas de paredes finas, con toda la tipología promovida por Mayet como originarias de Mérida, y las lucernas, especialmente los tipos Dressel 11B, Dressel 12 y Dressel 13, como ejemplificadoras de su adscripción temporal en torno a la segunda mitad del siglo I d. C.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tras la selección de 127 individuos cerámicos procedimos a efectuar una fractura fresca para así estudiar sus características macroscópicas. Para tal fin empleamos una lupa binocular Olympus Szh, equipada con un objetivo de 1X y otro de 2X, además de un zoom continuado de 0.75X a 6.4X, siendo las observaciones estandarizadas a 10X, 30X y 50X, así como la iluminación (fuente de luz fría Olympus Europe Highlight 3000 con intensidad High y brillo 3). Como resultado de este proceso nos decantamos por reducir el número de muestras y trabajar con los individuos cerámicos que mostraban más afinidad macroscópica. Posteriormente, estas muestras fueron desprovistas de la capa superficial con un torno de dentista, para eliminar las posibles contaminaciones, y trituradas y homogeneizadas en un molino de bolas (modelo Spex Mixer 8000) equipado con una celda de carburo de tungsteno.

La determinación de la composición química de los 57 individuos cerámicos se efectuó por FRX (Wishton, 1987), midiendo las intensidades de fluorescencia con un espectrofotómetro Phillips PW 2400, controlado por ordenador y empleando como fuente de excitación el tubo con ánodo de Rh. La cuantificación de los elementos se realiza mediante una recta de calibración confeccionada con 62 patrones geológicos internacionales en perla. Los elementos determinados pueden ser observados en la tabla 1, aunque algunos de ellos fueron desechados por problemas de errores aleatorios imposibles de detectar o por cuestiones de contaminación, por lo que el estudio y la discusión teórica se ha llevado a cabo sobre Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Zr y Sr, además de la pérdida al fuego (LOI).

La composición mineralógica fue determinada empleando la DRX (Cullity, 1977; Dent Glasser, 1977; Wishton, 1987) utilizando un difractómetro para muestras en polvo Siemens D-500, y la muestra compactada para alcanzar un tamaño de grano idóneo. Se ha trabajado con la radiación Ka del Cu (longitud de onda=1.5406Å), con un monocromador de grafito y una potencia de trabajo de 1.2kW (40kV, 30mA), midiendo a $1^\circ 2\theta/\text{min}$ (tamaño de paso= $0.05^\circ 2\theta$ y tiempo de 3s) de 4 a $70^\circ 2\theta$. Las determinaciones se hicieron a partir del compendio de programas DIFFRAC/AT, que incluye el banco de datos del Joint Comitee of Powder Diffraction Standards (JCPDS).

El estudio mineralógico por microscopía óptica de polarización fue realizado sobre las láminas delgadas de los 17 individuos seleccionados. Aquéllas fueron preparadas según el procedimiento ya recogido en algún trabajo (Cau, 1993), y las observaciones fueron efectuadas con un microscopio Olympus BH-2 equipado con objetivos de 4X, 10X, 20X y 40X, trabajándose entre 40 y 400 aumentos.

RESULTADOS

Fluorescencia de Rayos X

Sobre unos resultados estandarizados y normalizados (tabla 1), aplicamos una técnica de análisis de agrupamiento utilizando las distancias euclideas al cuadrado media y empleando el algoritmo aglomerativo del centroide. El dendrograma resultante (fig. 3) refleja cuatro agrupaciones significativas, denominadas A, B, C y D, además de una serie de individuos (outliers) que se unen individualmente o en pequeños grupos. El proceso aglomerativo es perfectamente explicable, como veremos, en función del comportamiento de los distintos elementos químicos, no así la interpretación de esas agrupaciones como resultado entre otros factores del contexto de conjunción en el que nos hemos movido y la ausencia de un muestreo estadístico. Nos encontramos a nivel de Unidades de Referencia Composicional de Pasta (Buxeda *et al.*, 1994). No obstante, las diferencias composicionales no parecen especialmente significativas y podrían tener como causa algunas de las apuntadas en la bibliografía (Dufournier, 1976), como consecuencia del largo proceso que experimenta la cerámica hasta llegar al analista (Maggetti, 1981). De lo que no cabe duda es de que nos encontramos ante un conjunto de naturaleza no calcárea ($\text{CaO} < 6\%$). A grandes rasgos, la Primera Agrupación (A) se sitúa a la izquierda del dendrograma (fig. 3) y abarca los individuos del M1-45 al M49-322, con una distancia ultramétrica de 0.8. Lo más destacado en ella son los valores muy altos en Fe_2O_3 , TiO_2 , Na_2O , Rb y Zr, mientras que los valores mínimos se dan en CaO, K_2O , Ba y Sr. Por último, el promedio de la pérdida al fuego es el más bajo del conjunto. La segunda agrupación (B), hacia la derecha de la anterior en el dendrograma, comprende los individuos del M2-62 hasta el M36-255, con una distancia ultramétrica de 0.75. Su particularidad se centra en unos valores altos en MgO, Ba y Sr y unos promedios bajos en Rb y Zr. Algo que también supone cierta diferencia con la anterior agrupación es el alto valor de la pérdida al fuego. La tercera agrupación (C), situada hacia el final del dendrograma, está compuesta por los individuos M11-142 a M53-381, con una distancia ultramétrica cercana a 0.6. Químicamente es definible por un promedio alto en K_2O , SiO_2 , Zr, Ba y Rb, mientras que los elementos con una presencia baja son Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , MgO y CaO. La pérdida al fuego se sitúa en un tramo intermedio entre las agrupaciones A y B. La cuarta agrupación (D), la más hacia la derecha en el dendrograma, abarca a los individuos M5-107 a M52-344, contando con una distancia ultramétrica de 0.3, la menor

del conjunto cerámico estudiado. Es, sin duda, la agrupación con un comportamiento más particular y algo más «diferente» del resto, pero sin mostrarse radicalmente distante. Los promedios altos se sitúan en Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , MgO y CaO , los más bajos en la anterior agrupación. Los valores bajos los encontramos en SiO_2 y Na_2O . Por último, situaríamos la presencia de una serie de *outliers*, M33-248, M56-239b, M31-246, M16-168, M43-264, M47-283, M41-261, M55-405 y M15-157, determinados por la existencia en ellos de elementos químicos con valores no muy normales para el conjunto, aunque presentan según los casos semejanzas con alguna de las agrupaciones reseñadas.

Difracción de Rayos X

Tomando como base de partida las agrupaciones químicas, hemos analizado la naturaleza mineralógica de cada una de ellas. Los resultados siguen mostrando un panorama en el que las muestras comparten características similares a la vez que presentan ciertas diferencias, aunque nada importantes. Queremos añadir asimismo que el análisis mineralógico nos ha servido para acercarnos a una estimación prudente de las temperaturas equivalentes de cocción, siempre en términos de más alta o más baja temperatura. Es indudable que las temperaturas más altas se sitúan en una buena parte de los individuos de la primera agrupación, ejemplificado en la presencia de espinela y, en algunos casos, de cristobalita alta, además de la escasez o inexistencia de filosilicatos. El resto de las agrupaciones, B principalmente, C y D cuentan con individuos cocidos a menor temperatura. Por último, reseñar la naturaleza silícea de la muestra, la ausencia de silicatos cálcicos de alta temperatura, así como la presencia de plagioclasa en mayor cantidad que la de feldespatos potásicos.

Microscopía Óptica

Los individuos cerámicos estudiados por lámina delgada, al menos uno por agrupación química además de algunos *outliers*, muestran diferencias texturales (centradas en tamaño y porcentaje de grano), por ejemplo, entre vasos negros con decoración a ruedecilla, muy cuidados, y barroños más bastos. Este hecho, que ya se apuntaba macroscópicamente, no deja de tener interés si tenemos en cuenta que, hasta en piezas tipológicamente iguales se dan variaciones en este sentido. Una vez apuntada esta cuestión, proponemos la existencia de cuatro grupos o fábricas petrográficas, siendo las tres primeras ciertamente compatibles, mientras que la última es algo diferente, con matices. La primera se define por predominio de cuarzo sobre plagioclasas y feldespatos K, en segundo y tercer lugar, mientras que filosilicatos (moscovita), anfíbol (hornblenda) y fragmentos de roca tienen menos presencia. El segundo grupo muestra semejanzas con el anterior, salvo por la presencia más abundante ahora de anfíbol. El tercer grupo tiene trazas de metamorfismo y anfíbol más destacados. El cuarto grupo, parece proceder de una arcilla secundaria, más fina y con una presencia de calcita antes no vista, además de menor localización de fragmentos de roca.

CONCLUSIONES

Aunque éste es un primer paso para seguir trabajando en esta línea, podemos decir que, en un esquema teórico en el que se han conjugado los problemas arqueológicos, las posibilidades a priori, los criterios de validación arqueológicos y los criterios de evaluación (Picon, 1973; 1992), hemos obtenido unos resultados que permiten apostar por un hipotético origen local de la materia prima. La caracterización mineralógico-petrográfica ha sido la que más luz ha aportado, al mostrar una naturaleza granodiorítica del material, con algunos aportes metamórficos (arrastrés del río Guadiana probablemente) totalmente compatible con la geología de la zona (fig. 2, IGME, 1987).

Las diferencias texturales observadas muestran ciertas particularidades en el proceso tecnológico entre unas muestras y otras, si bien no parecen suponer ni una estandarización a rajatabla ni una intencionalidad muy evidente, siempre que estemos ante una muestra monogenética, claro está. Una excepción a este discurso es observable en una serie de muestras, encuadradas en la agrupación química B, con un acabado muy cuidado (bruñido y, en ocasiones, decoración impresa) y que han sido cocidas en atmósfera reductora y a baja temperatura, proceso imprescindible para conseguir los efectos metálicos del bruñido. Esta intencionalidad extrema es más importante si cabe porque estamos ante piezas que forman una vajilla fina de mesa, de naturaleza no calcárea, cuando la vajilla fina de mesa romana que circula por el Mediterráneo se está fabricando en pastas calcáreas. La explicación podría venir dada porque estuviéramos ante tradiciones cerámicas de la zona anteriores a la ocupación romana.

AGRADECIMIENTOS

A los directores de este trabajo, D. Enrique Cerrillo Martín de Cáceres y D.^a María Jesús Liso Rubio.

A la Asamblea de Extremadura, por la financiación del Proyecto.

Agradecemos asimismo a la Universitat de Barcelona (Serveis Científico-Tècnics) las facilidades dadas para la realización de la parte analítica de este proyecto. Asimismo a la Junta de Extremadura y al Fondo Social Europeo por la concesión de una estancia para investigadores en la Universidad de Barcelona.

A los miembros del ERAUB (Equipo de Recerca Arqueomètrica de la Universitat de Barcelona), concretamente a mis queridos amigos y colegas Jaume Buxeda, Miguel Ángel Cau, Francesc Tuset y a su director, Josep M.^a Gurt i Esparraguera, por su inestimable labor en la planificación y desarrollo de buena parte de este trabajo.

A Manuel de Alvarado y Juana Molano por habernos cedido tanto el material cerámico como su estudio.

A Ramón Luengo Ruiz, por su diligencia en la edición de este texto.

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, M.-MOLANO, J.

- (1994) Aportaciones al conocimiento de las cerámicas comunes altoimperiales en Augusta Emerita: El vertedero de la calle Constantino, en *Ceràmica comuna romana d'època altoimperial a la península ibèrica. Estat de la qüestió, Monografies Emporitanes VIII*, 281-285, Ampurias.

BUXEDA, J., CAU, M. A., GURT, J. M., TUSET, F.

- (1993) Análisis tradicional y análisis arqueométrico en el estudio de las cerámicas comunes de época romana, en *Ceràmica comuna romana d'època altoimperial a la península ibèrica. Estat de la qüestió, Monografies Emporitanes VIII*, 39-60, Ampurias.

CAU, M. A.

- (1993) *Las cerámicas tardorromanas de cocina modeladas a torno o a torneta de Sa Mesquida, Santa Ponça (Calvià, Mallorca). Caracterización macroscópica, caracterización arqueométrica y estudio arqueológico. Una propuesta metodológica*. Tesis de Licenciatura, Universitat de Barcelona.

DENT GLASSER, L. S.

- (1977) *Crystallography and its Applications*, Van Nostrand Reinhold.

DUFURNIER, D.

- (1976) *Recherches sur la signification et l'interpretation des resultats des analyses chimiques des poteries anciennes (Elements majeurs et mineurs)*, Laboratoire de Chimie du Centre de recherches archéologiques médiévales (Caen).

IGME

- (1987) *Mapa Geológico de España*, 1:200.000, Hoja 58-59, Villarreal-Badajoz, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

MAGGETTI, M.

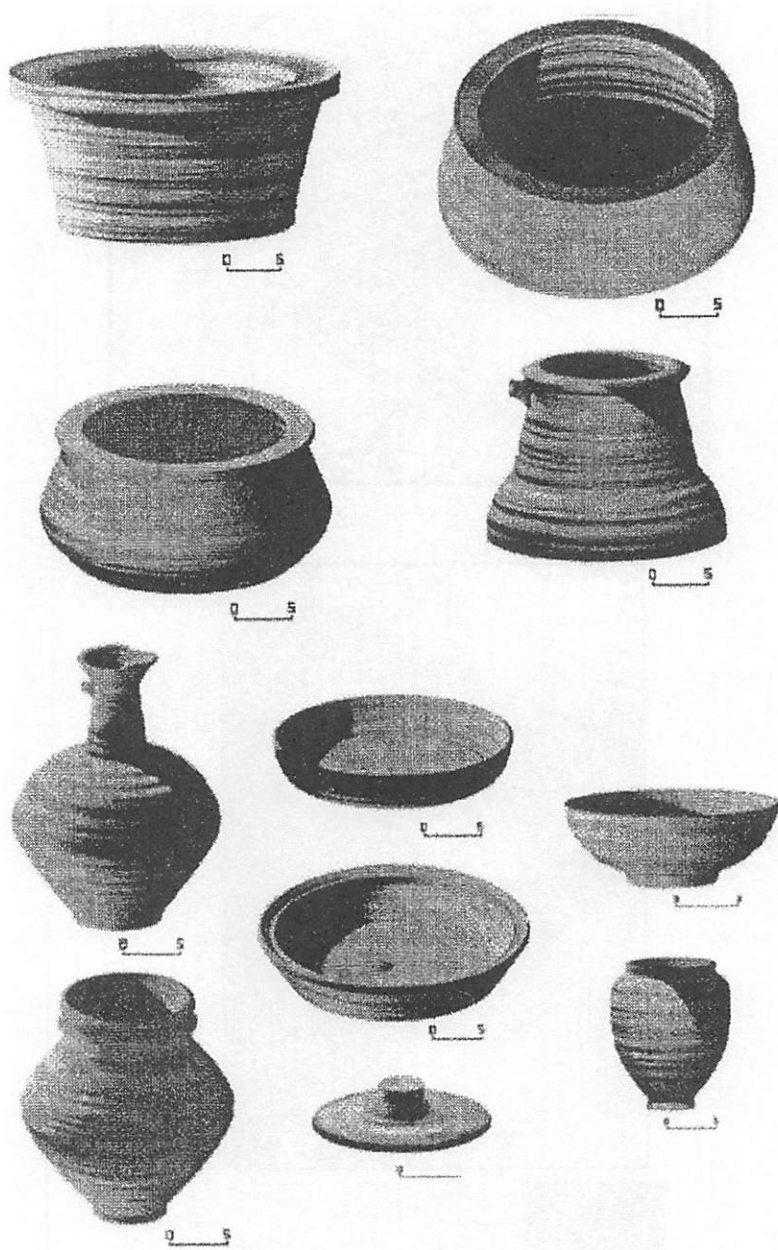
- (1981) Composition of roman pottery from Lousonna (Switzerland), HUGHES, M.J (ed.), *Scientific studies in ancient ceramics*, B.A.R. occasional paper 19, 33-49, London.

PICON, M.

- (1973) Introduction à l'étude technique des céramiques sigillées de Lezoux, *Centre de Recherches sur les Techniques Greco-romaines*, n.º 2, Université Dijon.

PICON, M.

- (1992) L'analyse chimique des céramiques: bilan et perspectives, en FRANCOVICH, R. (De.), *Archeometria della ceramica. Problemi di Metodo*, Atti 8.º SIMCER. Simposio Internazionale della Ceramica (Rimini, 10-12 Novembre 1992), Centro Ceramico Bologna, Istituto di Archeologia, Edit. Int. Centro Ceramico, Univ. di Bologna, pp. 3-26.



Lám. 1. Principales formas cerámicas estudiadas.

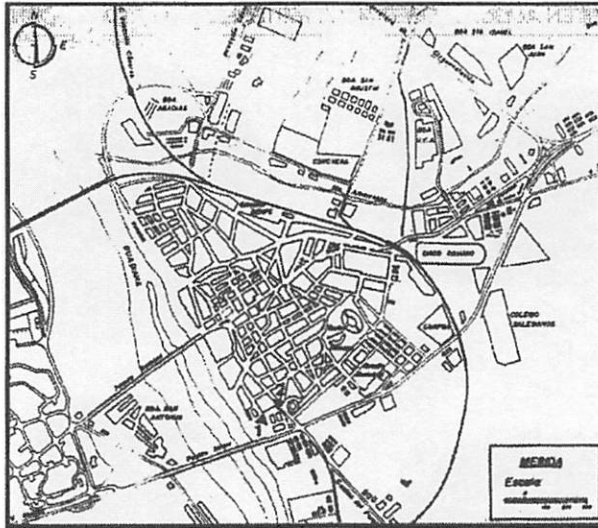


Fig. 1. Localización del vertedero (1) y del horno cercano (2).

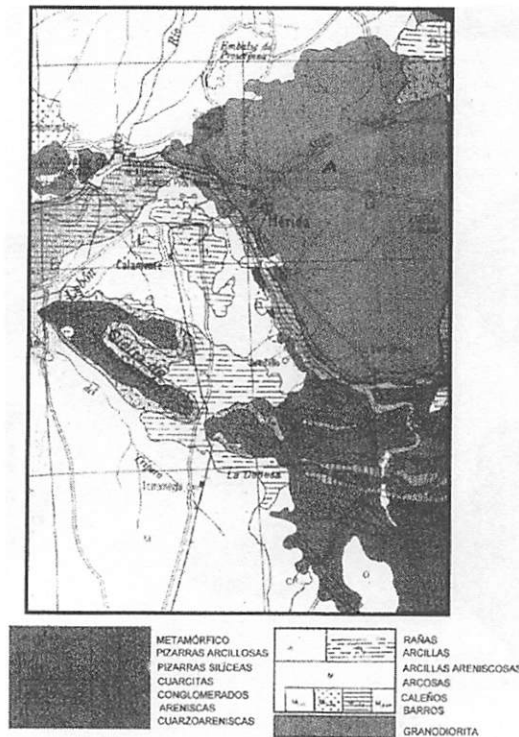


Fig. 2. Geología de las inmediaciones de Mérida (Escala 1:200.000).

	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	
--	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	--

Tabla 1. Resultados de la fluorescencia de Rayos X.

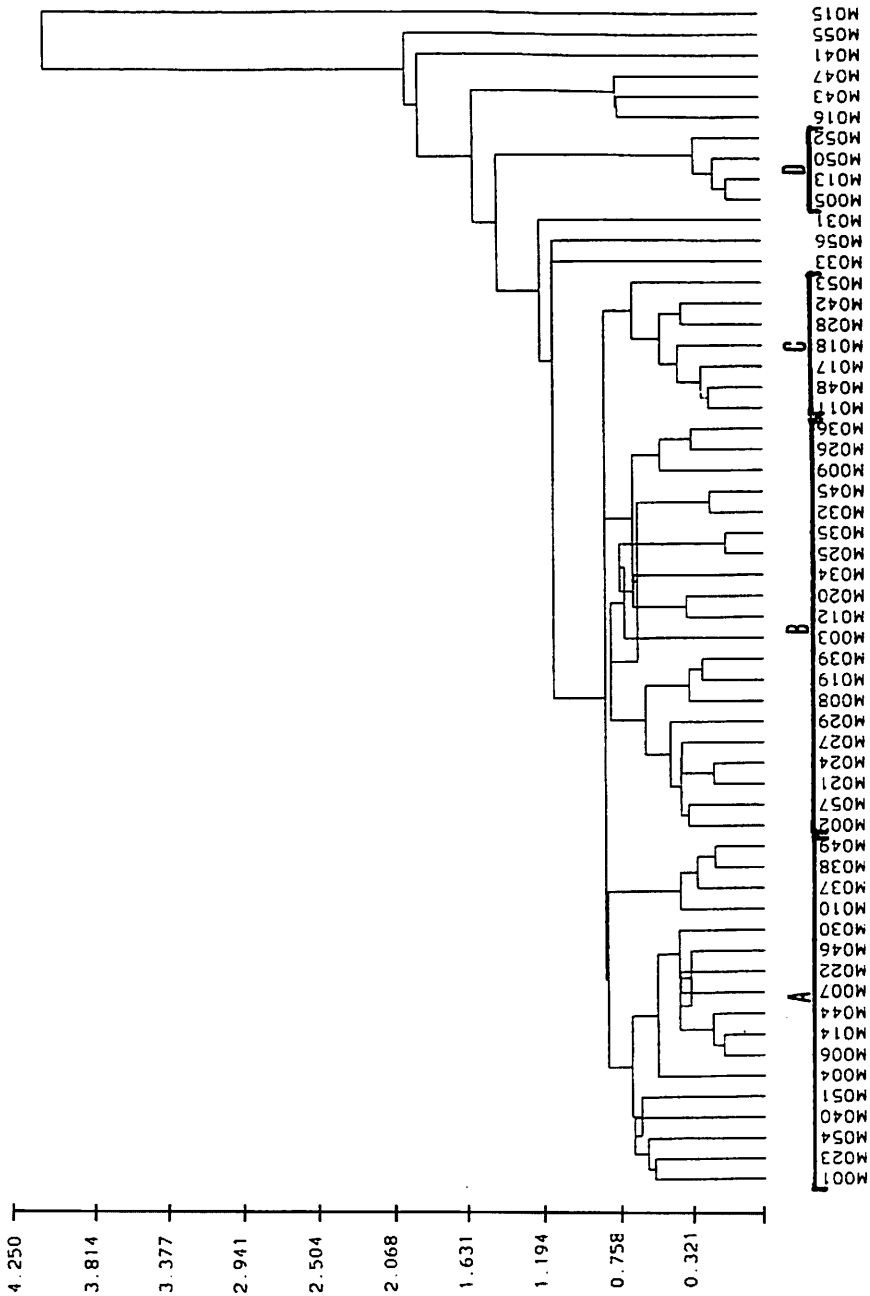


Fig. 3. Dendrograma sobre los resultados de Fluorescencia de Rayos X.

PRIMEROS RESULTADOS DEL ESTUDIO ARQUEOMÉTRICO DE UN ALFAR DE ÉPOCA ROMANA EN ZARAGOZA

por

M. C. AGUAROD OTAL¹, M. P. LAPUENTE MERCADAL²,
J. A. MÍNGUEZ MORALES³, J. PÉREZ ARANTEGUI⁴

RESUMEN

Las excavaciones realizadas en la calle Predicadores 113-117, de la ciudad de Zaragoza dieron como resultado el hallazgo de los restos del vertedero de un alfar de época romana dedicado a la elaboración de cerámicas, cocidas en atmósfera oxidante, adecuadas para procesos culinarios en frío, mesa, almacén, etc. La cronología del alfar se sitúa entre finales del siglo I de la Era y comienzos del II. En sus producciones existen formas con revestimiento de engobe, en ocasiones decoradas, y formas sin cubierta.

Se han estudiado un total de cuarenta fragmentos de cerámica de diferentes formas. Todos ellos presentan características composicionales semejantes, si bien pueden diferenciarse dos grupos en función de su granulometría. Estas piezas se elaboraron con arcillas micáceas muy depuradas a las que se añadieron desgrasantes en proporción y tamaño variable, fundamentalmente fragmentos de rocas graníticas y de sus minerales constituyentes y en menor proporción fragmentos de rocas metamórficas, calcáreas y óxidos de hierro.

INTRODUCCIÓN

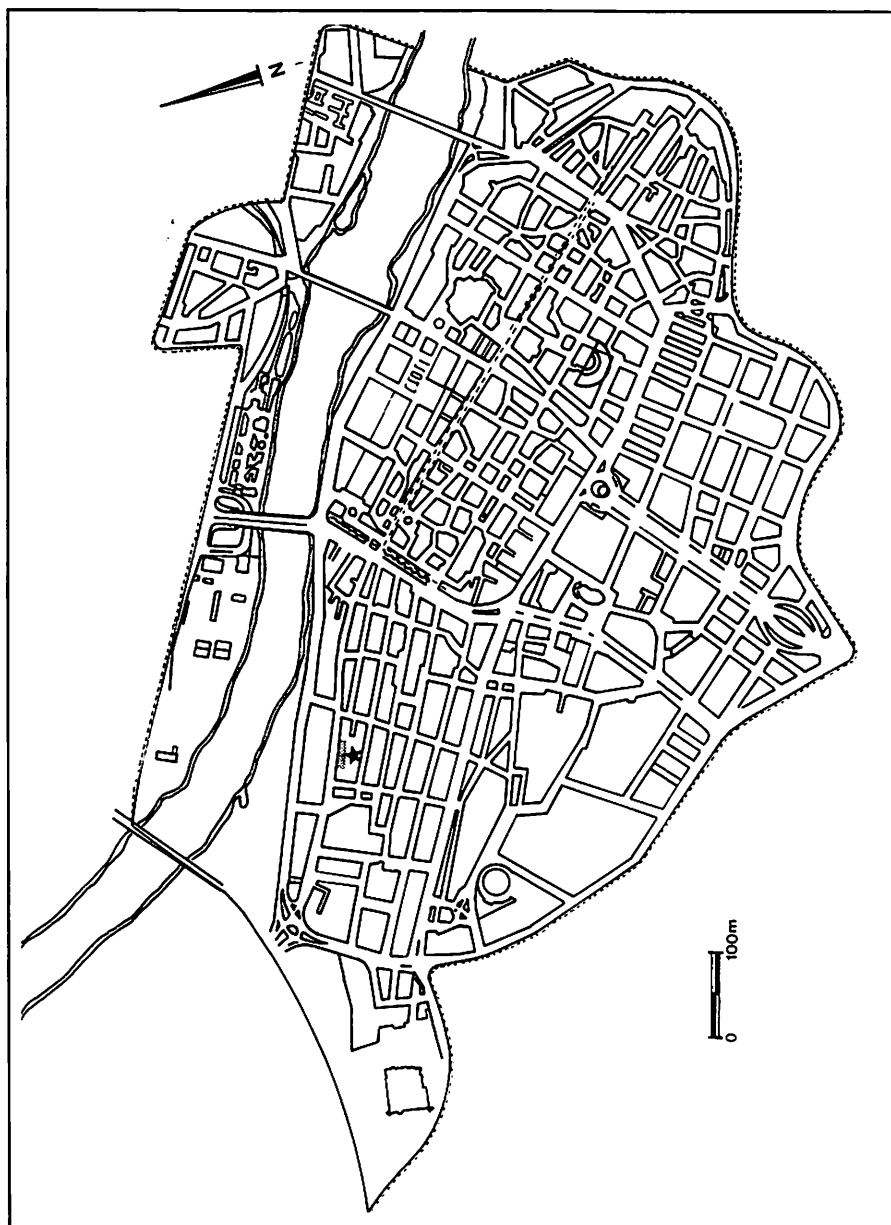
En 1988, tras las pertinentes catas comprobatorias, se realizaron excavaciones en un solar del casco histórico de la ciudad situado en los números 113-117 de la calle Predicadores, a cargo de la Sección Municipal de Arqueología del Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza.

1. Unidad de Museos y Exposiciones. Ayuntamiento de Zaragoza.

2. Departamento de Petrología y Geoquímica. Universidad de Zaragoza.

3. Departamento de Ciencias de la Antigüedad. Universidad de Zaragoza.

4. Departamento de Química Analítica. Universidad de Zaragoza.



★ C/. Predicadores, 113-117

Fig. 1. Ubicación del alfar en el plano del casco histórico de Zaragoza.

El alfar se encuentra ubicado en el actual barrio de San Pablo, extramuros de la ciudad romana. En sus proximidades se localizaron los restos de una importante industria alfarera datada entre los siglos X y XII d.C., lo que pone de manifiesto la perpetuación de la tradición alfarera en este emplazamiento.

La excavación se realizó en una superficie de 260 m² aproximadamente. El depósito excavado constituía un relleno formado por sucesivas capas de vertidos, en una oquedad entre las gravas naturales del terreno.

El resultado de los trabajos consistió en el hallazgo de un depósito de materiales cerámicos, datables en época romana que se identificó con el vertedero de un alfar en el que se alternaban capas de materiales de desecho del taller con otras constituidas por basuras de naturaleza variada. Los materiales correspondientes al alfar son piezas con fallos de cocción, instrumental de trabajo alfarero y restos de adobes, pertenecientes a las estructuras de uno o varios hornos que debieron ubicarse en las inmediaciones, pero que no se localizaron.

Este alfar produjo tres tipos de cerámicas: producciones comunes oxidantes, sin cubierta, así como cerámicas engobadas y vasitos de paredes finas. Se trata de un alfar especializado en fabricar servicios para mesa, almacén y procesos culinarios en frío, que en su utilización no se expondrían al fuego, por lo que las pastas no tendrían que estar preparadas para soportar el choque térmico.

Ante el examen macroscópico las pastas utilizadas presentan colores claros (Munsell 5YR 6/6; 10 R 5/8), y dos grados de depuración diferente. La mayoría de las producciones oxidantes sin cubierta y algún ejemplar engobado muestran en la pasta inclusiones aisladas de tamaño mediano-grande, de color blanco, otras blanquecinas y láminas brillantes de mica; mientras la casi totalidad de las cerámicas con cubierta de engobe y algunas producciones oxidantes sin cubierta poseen una pasta muy depurada con presencia de pequeños fragmentos de inclusiones apenas visibles.

Los engobes presentan, en su mayoría, tonalidades rojizas (Munsell 2.5YR 4/8; 2.5YR 5/6), marrones (Munsell 5YR 5/6) y otras que abarcan la gama de los grises hasta el negro (Munsell 5Y 5/1; 5Y 4/1; 5Y 3/1).

Entre las producciones sin cubierta de engobe hallaremos mayoritariamente diversas formas de jarras con una o dos asas, botellas con un asa y una gran variedad de cuencos de tamaño pequeño; en menor medida veremos lebrillos, grandes cuencos con asas horizontales aplicadas, diversas formas de tapaderas y pequeñas ollas.

Entre las producciones engobadas aparecen jarritas biansadas de pequeño tamaño cuya función dentro de los servicios de mesa sería la de ser utilizadas como vasos para beber; también jarritas de tamaño intermedio y jarras de tamaño superior, en ocasiones, con pico vertedor. Estas últimas pueden presentar decoración de falos aplicados con finalidad apotropaica, y decoraciones pintadas en blanco a base de puntos gruesos y semicírculos concéntricos, en este caso de tradición ibérica y celtibérica. También hallaremos botellas, aunque en menor medida, en algún caso con cuerpo cilíndrico, así como algunos cuencos.

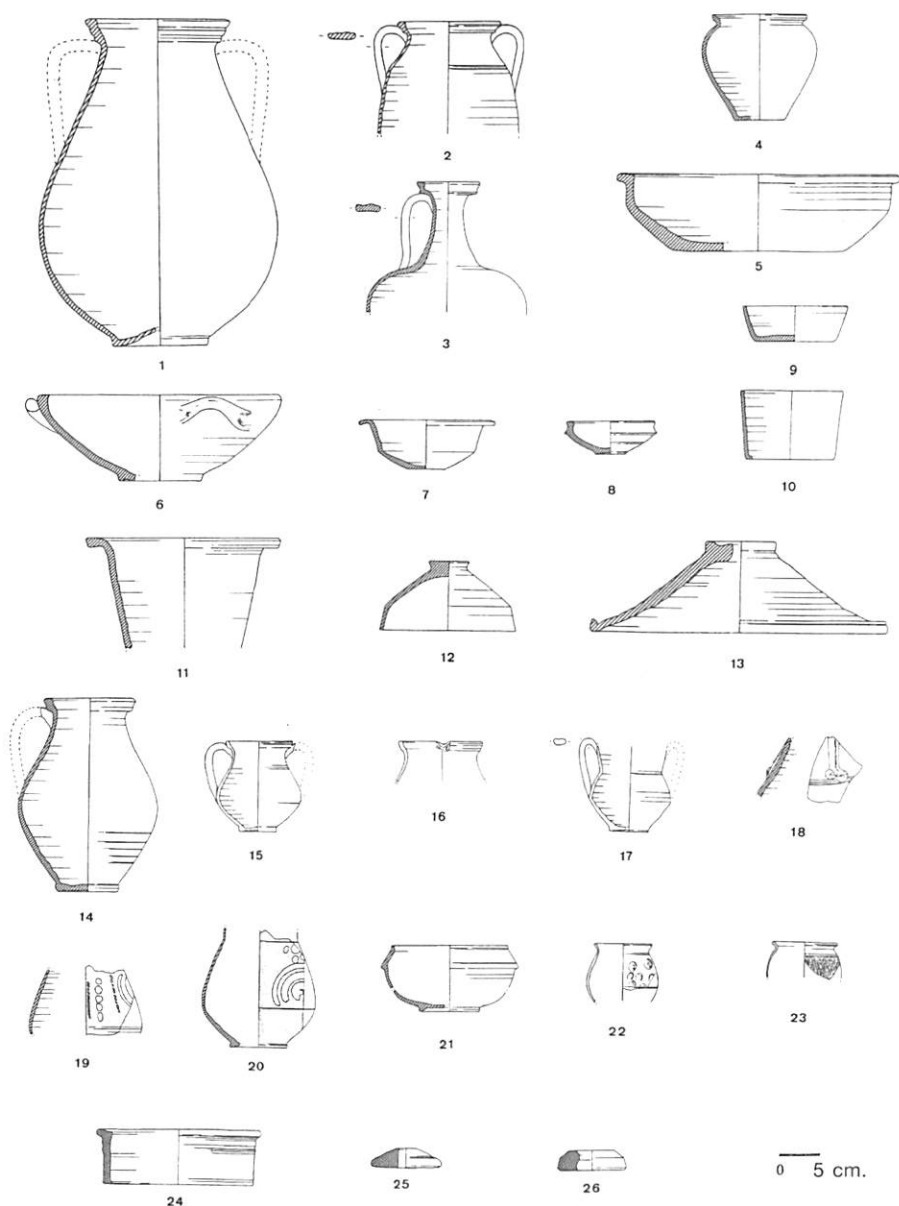


Fig. 2. Aproximación tipológica a las producciones del alfar. Cerámica oxidante sin cubierta: núms. 1-13; cerámica engobada: núms. 14-21; cerámica de paredes finas: núms. 22-23; instrumentos de alfarero: núms. 24-26.

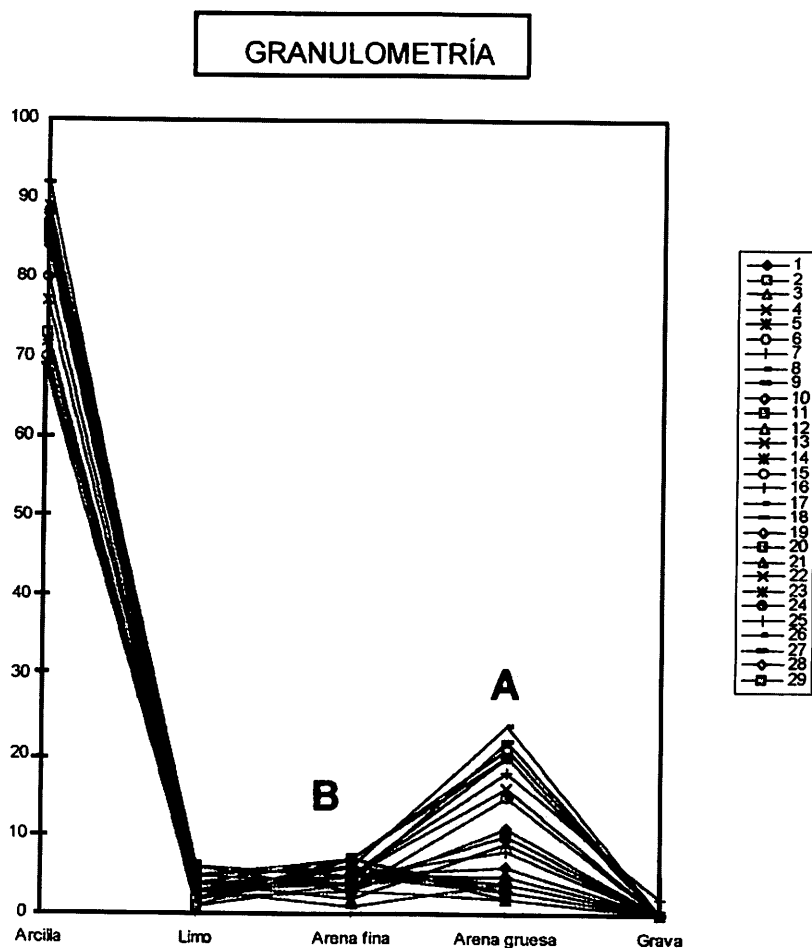


Fig. 3.

Entre las producciones de paredes finas hallaremos vasitos de cuerpo de tendencia globular y labio vuelto. Presentan decoración de lúnulas a la barbotina y decoración impresa a la ruedecilla.

Se seleccionaron para su análisis un total de 37 muestras:

A97.1 88.6.II.E'G'.1312. Rodete de alfar

A97.2 88.6.II E'G'.1311. Rodete de alfar

A97.3 88.6.5-7.C'D'.59746. Cer. oxidante, cuenco pequeño

A97.4 88.6.5-7.A'B'.44548. Cer. oxidante, cuenco pequeño

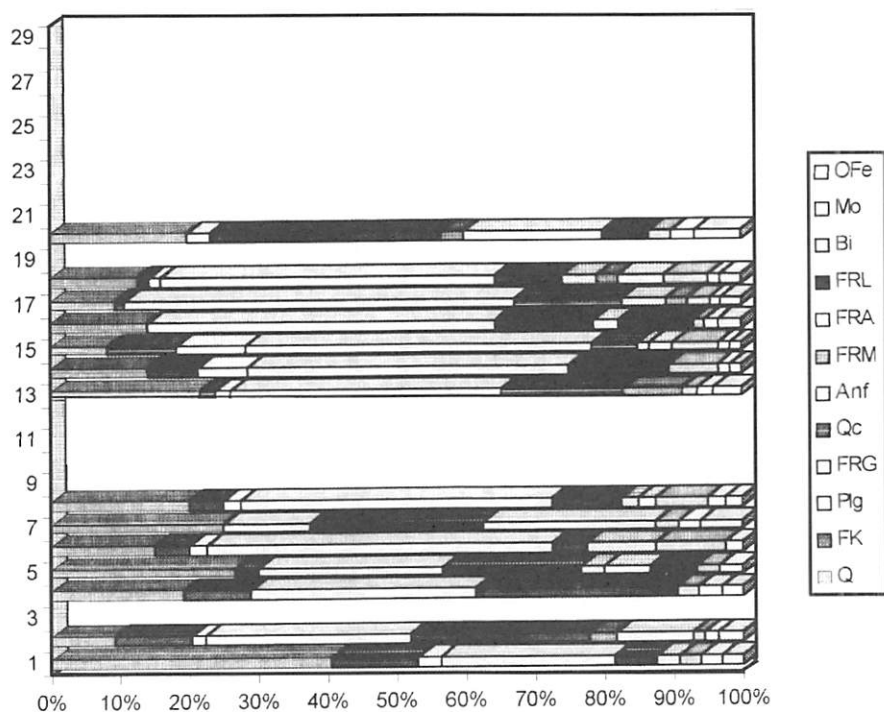


Fig. 4.

- A97.5 88.6.6-8.I'J'.74325. Cer. oxidante, cuenco grande con asas aplicadas
 A97.6 88.6.11.J'L'.14580. Cer. oxidante, cuenco grande con asas aplicadas
 A97.7 88.6.6-8.C'D'.38862. Cer. oxidante, jarra
 A97.8 88.6.6-8.C'D'.38858. Cer. oxidante, jarra
 A97.9 88.6.1-3.M'L'.85637. Cer. oxidante, jarra
 A97.10 88.6.1-3.K'L'.85640. Cer. oxidante, jarra
 A97.11 88.6.6-8.E'F'.97240. Cer. oxidante, botella
 A97.12 88.6.6-8.E'F'. Cer. oxidante, botella
 A97.13 88.6.6-8.C'D'.43321. Cer. oxidante, lebrillo
 A97.14 88.6.11.J'L'.14589. Cer. oxidante, lebrillo
 A97.15 88.6.11J'L'.14586. Cer. oxidante, tapadera de tinaja
 A97.16 88.6.1-3.A'B'.43591. Cer. oxidante, tapadera de tinaja
 A97.17 88.6.2-4.A'B'.28664. Cer. oxidante, cuenco
 A97.18 88.6.6-8.C'D'.39153. Cer. oxidante, cuenco

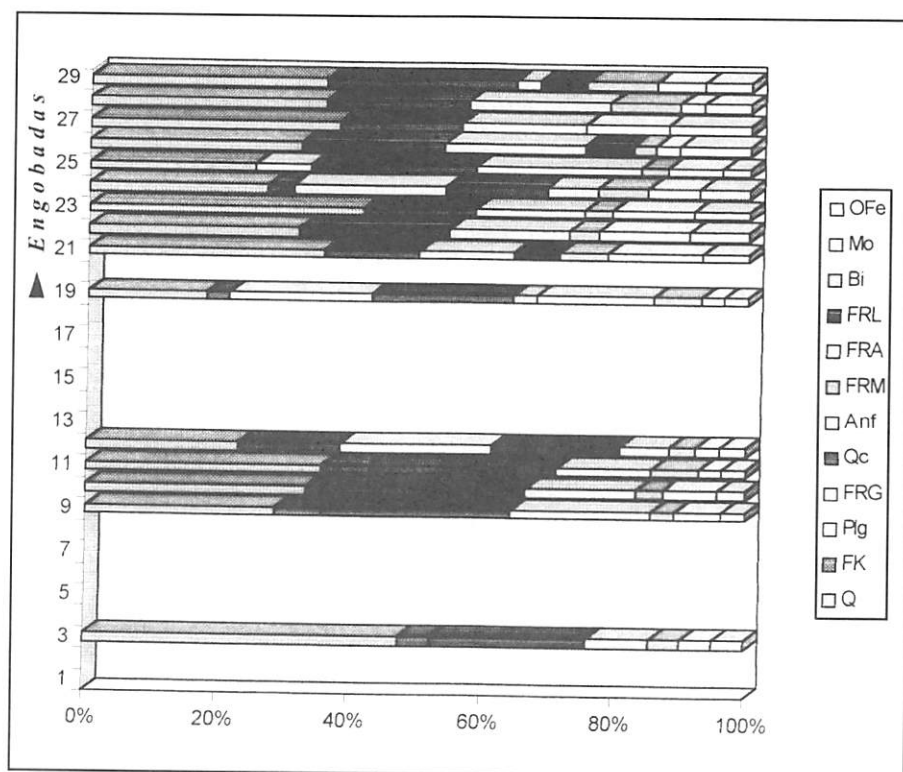


Fig. 5.

- A97.19 88.6.C'D'.59114. Cer. engobada, jarra
 A97.20 88.6.6-8.C'D'.34878. Cer. engobada, jarra
 A97.21 88.6.1-3.K'L'.84317. Cer. engobada, jarra
 A97.22 88.6.6-12.I'J'.69978. Cer. engobada, cuenco
 A97.23 88.6.2-4.N'O'.76806. Cer. engobada, cuenco
 A97.24 88.6.5-7.C'D'.68384. Cer. engobada, cuenco
 A97.25 88.6.2-4.E'F'.104003. Cer. engobada, pared
 A97.26 88.6.2-4.A'B'.28476. Cer. engobada, fondo
 A97.27 88.6.6-8.K'L'.74158. Cer. engobada, pared decorada
 A97.28 88.6.2-4.G'H'.102148. Cer. engobada, pared decorada
 A97.29 88.6.6-8.K'L'.74992. Cer. engobada, pared decorada
 A97.31 88.6.2-4.N'O'.77420. Cer. paredes finas, vaso decorado
 A97.32 88.6.2-4.G'H'.102137. Cer. paredes finas, vasito decorado
 A97.34 88.6.11.E'G'.1586. Cer. paredes finas, vaso decorado

A97.35 88.6.1-3.LL'M'.94711. Cer. paredes finas, vasito decorado
A97.36 88.6.2-4.C'D'.33291. Cer. paredes finas, vasito
A97.38 88.6.1-3.K'L'.84077. Cer. engobada, jarrita
A97.39 88.6.1-3.K'L'.84064. Cer. engobada, jarrita
A97.40 88.6.1-3.K'L'. Cer. engobada, pared decorada

PETROLOGÍA

Se ha realizado análisis petrográfico con microscopio óptico de luz transmitida en veintinueve de las muestras seleccionadas. Analizamos su granulometría, tamaño y forma de las inclusiones, y la composición, o litología de las inclusiones y de la matriz arcillosa.

Para el estudio granulométrico se ha realizado un conteo manual de puntos, que muestra las diferencias de tamaño de las inclusiones de las pastas, así como el porcentaje respecto a la matriz arcillosa. Se ha expresado en los tamaños:

- limo
- arena fina
- arena gruesa

En la figura 3 se observan dos conjuntos claramente diferenciados:

El A corresponde a pastas con menor porcentaje de matriz arcillosa entre 68 y 85% y además son las que contienen un tamaño de grano más grueso, (tamaño arena gruesa, < 2 mm de diámetro).

El B corresponde a pastas más depuradas con matriz arcillosa superior a 86% e inclusiones dominantes de la fracción limo-arena fina.

Respecto a la composición o litología observamos las siguientes diferencias en los dos grupos:

- Grupo A. Grano grueso

Presenta una amplia variedad de diversa litología. Lo más característico son los fragmentos de rocas graníticas y sus correspondientes componentes mineralógicos (Cuarzo, Feldespato Potásico, Plagioclasa, Micas (biotita y moscovita) y Anfíbol). Además de fragmentos de rocas sedimentarias (arenitas y lutitas) y fragmentos de rocas metamórficas, especialmente de cuarcitas.

Hay que mencionar que la composición uniforme del conjunto se observa más fácilmente, por este método petrográfico, en las muestras de grano grueso y que el análisis de conjunto (A y B) ha facilitado el estudio de la caracterización de las de grano fino.

- Grupo B. Grano fino

Con igual litología que el anterior, sólo que los fragmentos de rocas graníticas son comprensiblemente menos abundantes e incluso ausentes, por su pequeño tamaño, sin embargo, excepcionalmente, ha sido posible su examen en algunas muestras.

Estas piezas se han comparado con otras muestras de alfares próximos de igual y diferente cronología. El paralelo más cercano lo constituye el alfar de Tarazona (Aguarod y Amaré, 1987). El análisis petrográfico de una muestra

de Tarazona se caracteriza por una matriz arcillosa depurada de grano fino, que supone un porcentaje del 63%, con comportamiento óptico birrefringente (o anisótropo) frente a la luz polarizada. Un rasgo distintivo es la presencia de algas calcáreas fósiles, además de cuarzo, óxidos de hierro y carbonatos como inclusiones.

También se han comparado con muestras del alfar musulmán del barrio de San Pablo, cuyos restos se localizan en las cercanías de la excavación (Agua-rod y Escudero 1991). En las mismas hallamos una gran variedad de pastas (Ramírez, 1995). Las más características se corresponden con un grupo de matriz arcillosa muy depurada, que supone el 93%, que es utilizado en formas finas ricamente decoradas con diversos recubrimientos: vidriado, esmalte, cuerda seca... Junto a éste se pudo diferenciar otro grupo también utilizado en piezas decoradas, de mayor tamaño, que se caracteriza por presentar inclusiones de arena fina-media de cuarzo y cuarcita (7-12%). Así mismo se diferenciaron otros dos grupos en los que se constata la presencia de carbonatos, que corresponden a piezas sin recubrimiento o con decoración a la almagra y material de alfar. Por último, un quinto grupo corresponde a formas de cocina, ollas, etc., cuyo análisis petrográfico muestra la mayor cantidad de inclusiones (15-25%), en una matriz con textura fluidal.

Una vez comparadas las muestras del alfar romano de la calle Predicadores con las del alfar de Tarazona y las del alfar musulmán del barrio de San Pablo, se puede asegurar una clara diferencia entre las áreas fuente que suministraron las arcillas para su manufactura. Esto facilita la caracterización de los productos cerámicos de cada uno de los alfares comparados.

PROCEDENCIA

A través del estudio petrográfico deducimos que la composición de las pastas utilizadas en el alfar es rica en inclusiones de fragmentos de rocas graníticas, que dentro del entorno geológico de la ciudad de Zaragoza sería compatible con los sedimentos cuaternarios próximos a la confluencia del río Ebro con el río Gállego.

TECNOLOGÍA

A través de los cambios mineralógicos sufridos en el cuerpo cerámico al ser cocido podemos conocer las condiciones de cocción, especialmente la temperatura alcanzada. En nuestras pastas, los minerales de la arcilla han comenzado a descomponerse perdiendo en parte su cristalinidad, pero la matriz no llega a ser isótropa bajo el microscopio óptico. Por ello estimamos una temperatura aproximada entre 800 y 850° C, sin llegar a superar los 900°C. Por otra parte, la presencia de grumos de cal en la pasta y de calcita cristalina formando parte de las inclusiones, como calcarenita, nos informa sobre la temperatu-

ra, que no fue lo suficientemente alta para descomponer todos los carbonatos presentes, siendo acorde con la temperatura estimada.

ANÁLISIS QUÍMICO

Las pastas cerámicas de una parte de las muestras estudiadas petrográficamente, junto con un grupo de cerámicas de paredes finas, se analizaron mediante Espectrometría de Emisión Atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP), haciendo un total de veinte muestras.

Los resultados se muestran en la figura 6, dados como valores medios, junto con la desviación estándar de la media. En el grupo A se incluyen las muestras: A97.2, 5, 8, 14, 17 y 20; en el grupo B se incluyen: A97.3, 10, 12, 21, 23 y 25; y de las muestras no estudiadas por petrografía se analizaron la A97.31, 32, 34, 35, 36, 38, 39 y 40.

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃
GRUPO A	0,71	4,71	17,54	4,22	8,01	0,63	0,030	6,17
(±σ)	0,17	0,83	0,97	0,29	2,54	0,06	0,005	0,63
GRUPO B	0,54	4,58	17,46	4,32	8,50	0,65	0,032	6,49
(±σ)	0,05	1,09	2,04	0,53	3,24	0,06	0,003	0,89
Otras muestras	0,55	4,76	18,24	4,50	6,00	0,67	0,033	6,91
(±σ)	0,05	0,73	0,95	0,18	1,51	0,01	0,002	0,36

Fig. 6. Resultados de los análisis químicos (en %) de las pastas cerámicas, realizados por Espectrometría de emisión atómica con plasma-ICP.

Tanto en los dos grupos estudiados petrográficamente, como en las cerámicas de paredes finas y otras muestras engobadas, la composición química que aparece es bastante similar, indicando una única fuente con diferente depuración.

La única dispersión importante aparece entre los valores de porcentaje en óxido de calcio. Esta dispersión no guardaba ninguna relación con las diferencias petrográficas, ni tampoco con el tipo de objeto o de decoración, etc. (que hubiesen podido llevar a utilizar pastas diferentes). Por ello, pensamos que el mayor porcentaje de óxido de calcio que se da en algunas muestras se debe principalmente a fenómenos de alteración, por la importante presencia de carbonato de calcio y de yeso rellenando huecos en la pasta procedentes del terreno en el que se produjo el hallazgo. En algunos de los casos, la presencia de inclusiones también calcáreas (calcarenitas) pudo aumentar estos porcentajes de óxido de calcio.

No obstante, la pasta de todas ellas es ligeramente calcárea, el valor probablemente más próximo al de la arcilla original estaría alrededor de 5,5 a 6%, por la secuencia que siguen sobre todo las pastas más depuradas (grupo B y otras muestras de paredes finas y engobadas).

BIBLIOGRAFÍA

- AGUAROD OTAL, M. C. y AMARÉ TAFALLA, M. T.
(1987) Un alfar romano de cerámica engobada, común y lucernas en Tarazona (Zaragoza). XVIII Congreso Nacional de Arqueología, Zaragoza, 841-861.
- AGUAROD, C. y ESCUDERO, F.
(1991) La industria alfarera del barrio de San Pablo (siglos I-XIII). En AAVV, *Zaragoza. Prehistoria y Arqueología*. Zaragoza, 44.
- RAMÍREZ INGLÉS, M. P.
(1995) *Caracterización Mineralógica de la cerámica de un horno musulmán en Zaragoza*. Tesis de Licenciatura, inédita, Facultad de Ciencias, Zaragoza.

CERÁMICAS DEL CALCOLÍTICO Y SU ENTORNO (Llano de la Virgen, Málaga, España)

por

J. BARRIOS¹, J. FERNÁNDEZ², J. MORENO² y L. MONTEALEGRE³

RESUMEN

En este trabajo se estudian diversas piezas cerámicas procedentes de dos cortes de una excavación realizada en el Llano de la Virgen (Coín, Málaga). El lugar de la excavación es un asentamiento compuesto de hábitat y necrópolis, con abundante material cerámico perteneciente a la Edad del Bronce y finales del Calcolítico.

El yacimiento está situado sobre una colina, en el contacto entre calizas Neógenas y pizarras basales de las series de Coín (dominios Maláguide y Alpujárride). Sobre estos materiales se acumulan derrubios arcillosos y heterogéneos del Cuaternario, que contienen restos de culturas prehistóricas. En estos depósitos es posible definir varios niveles, cuyas cerámicas permiten atribuirlos a diversas etapas del Bronce. Existe un pequeño carst, oculto, cuyos materiales arqueológicos no están relacionados con la ocupación de superficie.

Mediante el empleo de diferentes técnicas (microscopía óptica, difracción de R.X., etc.) se han determinado las características microestructurales y la composición mineralógica de las muestras estudiadas. Se ha buscado una relación entre las piezas cerámicas, los suelos donde fueron encontradas y la geología del entorno. Los resultados obtenidos muestran claras diferencias en la composición tanto entre las muestras, como en los suelos donde fueron encontradas.

1. Depto. Quím. Inorg., Fac. Cienc., Univ. Córdoba.

2. Depto. Prehistoria, Fac. Fil. y Letr., Univ. Málaga.

3. Depto. C. y Rec. Agric. y Forst., ETSIAM, Univ. Córdoba.

INTRODUCCIÓN

Los restos arqueológicos encontrados en el Llano de la Virgen, del municipio de Coín, (Málaga, S-España) han sido objeto de varias campañas de excavación que han dado lugar a publicaciones encaminadas a dar a conocer la naturaleza e importancia del yacimiento (Ferrer y col., 1987). Se trata de un asentamiento compuesto de hábitat y necrópolis, conservados precariamente, que sin embargo ha dado un volumen importante de materiales principalmente cerámicos. En este trabajo se han estudiado una serie de piezas cerámicas que corresponden a una selección parcial de objetos cerámicos.

Los cortes de la excavación revelan la existencia de muros, suelos y tumbas, documentados parcialmente, que ya evidencian la presencia de una población en la zona, ocupando el cerro y explotando su medio próximo, durante una banda cronológica que «grosso modo» ocupa todo el segundo milenio a. C. (Ferrer y col., 1989, 1990). Culturalmente las piezas pertenecen a la época Edad del Bronce, con signos de reminiscencias del Calcolítico.

Geológicamente el yacimiento está situado sobre una colina, en la zona de contacto entre calizas lacustres Neógenas y subyacentes niveles esquistosos de los dominios Maláguide y Alpujárride.

En la zona periférica de la colina, y por un efecto de barrera de origen antrópico, se acumulan depósitos de derrubios Cuaternarios, que contienen materiales y estructuras de culturas prehistóricas. En estos depósitos es posible definir diversos niveles o estratos, cuya composición, así como los materiales arqueológicos que contienen, permiten atribuirlos a diversas etapas del Bronce.

En la figura 1 se muestra el mapa geológico y cortes del yacimiento. La figura 2 representa el esquema estratigráfico de los cortes realizados (I y III) así como la topografía del yacimiento. Se observa variación de coloración de unos niveles a otros.

- Nivel O (estrato superficial): compuesto de una mezcla de materiales sueltos de grano grueso, con un espesor inferior a 30 cm, no estructurado, con piezas arqueológicas de distintas épocas.
- Nivel I: espesor aproximado de 1 m, estructurado, compacto, con material arqueológico perteneciente al Bronce Final. Se han estudiado muestras de los suelos S_I -778 y S_{III} -179 de los cortes I y III, y las piezas cerámicas C-154 y C-214.
- Nivel II: espesor máximo de 115 cm, de similar tamaño de grano y compacidad al del nivel anterior. La parte superior se asocia a restos de derrumbes. Se han estudiado: S_I -775 y S_{III} -1181, C-1032, C-1043, C-1160 y en el contacto IIA/IIB C-1299, C-1324 y C-1327. Podemos inferir, por el material arqueológico encontrado, que se formó en época del Bronce Antiguo/Pleno.
- Nivel III: se asocia a un nuevo derrumbe. Espesor máximo de 50 cm y escasa definición estructural. Sus piezas arqueológicas no pueden asignarse de forma inequívoca a una fase concreta de la secuencia Bronce-Cobre. Se han estudiado los suelos S_I -776 y S_{IIB} -1593.

- Nivel IV: de textura más fina que los anteriores, menos compactado, S_I-907, y con un espesor de 50 cm. Está limitado en su parte inferior por una fina capa con restos de adobes y cenizas, que denotan un suelo de origen antrópico. En este nivel se encontraron C-792, C-797, C-840, C-841, C-842, C-852 y C-870. Este nivel y el siguiente (IV y V) parecen pertenecer a los momentos finales del Calcolítico.
- Nivel V: de 70 cm de espesor, S_I-1362 y con características similares al nivel anterior. Pertenecen a este nivel C-1121, C-1130, C-1130A y C-1130B.
- Nivel VI: 25 cm de espesor, S_I-1464 y hacia la mitad se observa una fina deposición de gravilla fina. El material arqueológico es insuficiente y poco significativo, por lo que su evaluación cultural es arriesgada.
- Nivel VII: Directamente en contacto con la roca, se observa una película delgada de unos 10 cm de espesor, de material estéril, S_I-1481.

Hay que señalar que las dataciones precisas se han basado en análisis de Carbono-14, para muestras del nivel II (corte III), junto a las muestras cerámicas aquí estudiadas: C-1299, C-1324 y C-1327, y que nos indican cifras del orden de los 3.440 ± 50 . B.P. (GrN.19992).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las piezas cerámicas estudiadas proceden de los dos cortes (I y III) de la excavación realizada y se las ha nombrado: C-. También se han estudiado los suelos de los diferentes niveles en el yacimiento y se han nombrado: S-. El subíndice indica el corte.

Los denominados «suelos» constituyen el material terroso en donde se encuentran las piezas cerámicas. No es realmente un suelo en sentido estricto aunque los materiales de acumulación y derrumbe que los forman han evolucionado a lo largo del tiempo.

Para la identificación mineralógica se ha empleado la Difracción de rayos X. Los difractogramas se realizaron sobre polvo y láminas orientadas. La caracterización petrográfica se realizó sobre lámina delgada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La observación de la superficie externa y del corte mediante lupa binocular, ha mostrado la existencia de notables diferencias entre las piezas cerámicas que aquí se analizan, observándose que las muestras de textura grumosa o migajosa pertenecen al nivel II siendo más heterogéneas el resto.

Sobre la **composición mineralógica**, basada en los datos de difracción de rayos X, puede destacarse en las **cerámicas**:

- Un alto porcentaje de carbonatos y feldespatos C-797 (N-IV) y 1121 (N-V).

— Muy bajo porcentaje de carbonatos en C-154, C-214 (N-I), C-1327 (N-II) y C-792 (N-IV).

— En los niveles I, II y III las cerámicas muestran ausencia de micas.

— C-1593 (N-II) presenta ausencia de cuarzo y un alto porcentaje de dolomita y calcita.

En la **composición de suelos** observamos:

— Aumento en el % de cuarzo y disminución en el % de carbonato del N-VII al N-I, excepto en el caso del nivel II donde el % de cuarzo es del 40 y el de carbonato del 45-50.

— Presencia de silicatos (no filosilicatos) en los niveles I y II. Interestratificados con esmectitas se observan sólo en el N-I y apenas en el N-II. El % global de filosilicatos disminuye desde el muro hasta el nivel IV para aumentar hacia el techo (N-I y N-II), lo que puede interpretarse como grado de alteración con el tiempo.

— Disminución progresiva del % de carbonatos hacia las capas superficiales. En N-III aparece dolomita.

Las tablas I y II muestran datos del estudio de lámina delgada (M.O.) de las **piezas cerámicas**:

— Predominio de cuarzo, procedente tanto de pequeños cristales aislados como de fragmentos rocosos (cuarcitas, areniscas, esquistos).

— La presencia escasa y a veces nula de restos fósiles en la fracción detrítica de las piezas, puede indicar barros originales procedentes del entorno Maláguide (Paleozoico, PermoTrías y Cuaternario).

— Un elevado % de la matriz frente a los agregados (55%-15%) presentan C-1299, C-1324 y C-1327 (contacto N-IIA/IIB) pertenecientes a una fase antigua y plena de la Edad del Bronce y C-214 (N-I), C-1032 (N-II) del Bronce final en comparación con las restantes muestras. La C-1121 (N-V) tiene % distintos en los bordes que en el núcleo. La relación matriz/agregados es 35/35% en el núcleo, y 65/<4% y 45/20% respectivamente en los bordes.

— En el contacto entre el nivel IIA/IIB, la proporción de minerales y fragmentos rocosos es 2:1 en las muestras C-1299 y C-1327, mientras que en la C-1324 es de 1:2.

— La C-797 y C-852 muestran un mayor diámetro de las rocas, lo que puede indicar la utilización de granos rocosos como desgrasantes. La fragmentación acusada de los granos de esqueleto, en C-797, C-852, C-870 (N-IV), -1130B (N-V) indica la utilización de los granos rocosos previamente molturados como desgrasante. Algo análogo ocurre con las cerámicas de niveles I y II, si bien en ellas, los granos de esqueleto no son tan grandes.

— La isotropía de la matriz es una característica dominante frente a la orientación anisótropa:

a) Son isótropas: C-1130 (N-V), C-1299, C-1324 (N-IIA/IIB).

b) Isotropas, con dominios locales de suave anisotropía: C-792, C-870 (N-I), C-1327 (N-IIA/IIB) y C-1130B (N-V).

c) Anisótropas en general: C-852 y C-1130A.

d) Bordes anisótropos y núcleo isótropo: C-797, C-841 (N-IV) y C-1121 (N-V).

e) Fuerte anisotropía óptica en C-214 (N-I), C-1032 (N-II), C-797(N-IV) y C-1130A (N-V), que atribuimos a un mayor grado de elaboración de la pieza.

— Las muestras del nivel de transición IIA-IIb (corte III), del Bronce, son más homogéneas, poseen matriz homogénea, isótropa y poco compacta, de elevada porosidad, etc. En el resto de niveles, tanto calcolíticas como las más recientes del Bronce, presentan una mayor heterogeneidad con matriz en ocasiones suavemente anisótropa, esqueleto mineral abundante, aglomerados (clastos) arcillosos (resultado de mezcla de barro), etc.

— En la mineralogía del esqueleto se observa la presencia de: calcita, dolomita, piroxenos (augita y diópsido), anfíboles (hornblenda), epidota, granates, circón.

— En C-797(N-IV) se observan grandes cristales rotos de dolomita y calcita, y en ocasiones idiomorfos.

— Los feldespatos aparecen con más frecuencia: C-797, C-852(N-IV), C-1121(N-V), C-1299, C-1324(N-IIA)IIB. En cuanto a los fragmentos de rocas, hay que destacar las de origen metamórfico (filaditos, micaesquistos) e ígneo (doleritas y ultrabásicas), que están presentes en algunos de los términos de la secuencia basal de los mantos Maláguides y en las serpentinas asociadas a los Alpujárrides, por lo que nos indican un origen relativamente próximo o muy próximo. También la sillimanita aparece en algunos casos, delatando su origen en el entorno próximo (gneis alpujárride).

CONCLUSIONES

1.— Las muestras cerámicas estudiadas presentan en general una gran heterogeneidad en su aspecto textural y composición, salvo las encontradas en el tránsito N-IIA/IIB, que son más homogéneas, isótropas, poco compactas y de elevada porosidad.

2.— La diferente composición, naturaleza y microestructura de los abundantes clastos arcillosos apoya la idea de una mezcla de barro de diferente origen: A) con un elevado % de clastos: C-792, C-841, C-1121, C-1130A, C-1299. B) con bajo %: C-1130, C-1130B y C-1324.

3.— La mayoría de las muestras presentan una matriz isótropa, lo que sugiere una suave presión «orientalizante» (poco elaborada). Presentan una marcada orientación C-214(N-I) y C-1160(N-II), C-797 y C-852(N-IV), C-1121(N-V) y C-1130A(N-VI). En ocasiones son visibles estructuras de presión por choque entre granos o clastos y matriz, especialmente en los bordes de las piezas, lo que sugiere un esfuerzo de modelado considerable.

4.— La aleteración de los fragmentos rocosos y la consiguiente liberación de hierro podría ser la principal causa de la aparición de opacos (óxidos de hierro).

5.— Se observa la presencia de material desgrasante, que pudiera ser intencionado

— C-797 presenta abundancia de piroxenos y hornblenda (fragmentos de tamaño arena gruesa) y de dolomita-ankerita, podría deberse a la utilización: a) de rocas básicas y máficas (doleritas, peridotitas, etc.) y b) mármoles de Coín (ricos en dolomita y ankerita) como desgrasantes.

— C-1130B presenta fragmentos de rocas que no proceden del entorno del yacimiento.

— En muchos casos parece haberse utilizado material cuarzoso, roto (molido previamente) con fines desgrasantes: C-797, C-1130B, C-852, C-870, C-1130, C-1299 y C-1327.

BIBLIOGRAFÍA

- BARRIOS NEIRA, J.; LÓPEZ PALOMO, L. A.; MONTEALEGRE, L. y NAVAS J. J.
(1994) Bell-beakers from Monturque (Córdoba, España): A preliminary archaeometric research. *I European Workshop on Archaeological ceramics*.
- BARRIOS NEIRA, J.; LÓPEZ PALOMO, L. A. y MONTEALEGRE, L.
(1994) Caracterización mineralógica y petroestructural de cerámicas protohistóricas. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.* 33(1), pp. 33-44.
- FERRER, J. E.; MARQUÉS I. y FERNÁNDEZ J.
(1987) El Llano de la Virgen (Coín, Málaga). Campaña de excavaciones de 1985. *Anuario Arqueológico de Andalucía/ 1985*, pp. 289-293.
- FERRER, J. E.; MARQUÉS I. y FERNÁNDEZ J.
(1989-1990) El Llano de la Virgen, consideraciones generales y secuencia estratigráfica del corte I. Las estructuras documentadas. *Mainake XI-XII*, Málaga, pp. 81-92.

Cerámicas del calcolítico y su entorno

TABLA I. Composición litológica y mineralógica (en lámina delgada).

MUESTRA	ASPECTO	MINERALES	ROCAS metamórficas	ROCAS sedimentarias	AGREGADOS	FOS
-154	parda	q, moscov, calc, calced anker, sider, plg. or.	micacita alter	arenita, caliza microespar.	clastos arcill., nod. negr+q.	cam., bilob.
-214	roja	micas, or, plg, hemat, q, goeth, calced,	cuarcita, esquisto	q-arenita	clastos arcill. nod. rojos	—
-1160	pard-negr	q, mica, calc	cuarcita micacita	q-arenita	clastos arcill, nod negr.	—
-1032	parda-roja q.	biot, mosc, alb, or, anfíbol, granat, diops, plg, sillimanita.	cuarcita micacita biot.	q-arenita arenisca moscov.	clastos arcill. nod-clast nod. negr.	cam.
-1043	negra	q, for, clor, calced, calc, micas, opacos.	cuarcita, micacit,	lutita	clastos arcill. nod. negr.	cam
-1299	pard-gris	q, clor, biot, opacos, silliman.	cuarcita, micacita	silex	clastos arcill	—
-1324	gris	q, hemat, biot, clor, plg, circón, opacos.	cuarcita, cuarc. de biot+clor	otros	clastos arcill	—
-1327	gris	q, biot, clor, plg, opacos, otros.	cuarcita, esquistos cloritic, micacita, otros	clastos arcill	—	—
-792	nar +nucl neg.	q, opac, clor, biot, calc, moscov, anfb, sanid,	micacitas	cuarzoarenita de biot+opac	clastos arcill.	cam.
-797	nar-amar	calc, anker, biot, or, plg, opacos, q, moscov, prx, clor, anfb, dol.	cuarcita	caliza	clastos arcill.	—
-841	parda+clast	q, calc, biot, clor, hemat, opacos, circón.	cuarcita micacita biot.	caliza micrit, arenisca moscov.	clastos arcill.	cam.
-852	gris	q, plg, moscov, clor, biot, opacos, granates, silliman, calc.	micacitas cuarcita	arenisca	clastos arcill.	cam
-870	gris con rocas	q, calc, moscov, clor, biot, opacos, hemat, ankerita, dolom, granates, circón.	cuarcita, roca volcánica	micrita, silice,	clastos arcill.	cam.
-1121	neg -borde nar.	biot, clor, cal, or, q, plg, opacos	cuarcita filadios	—	clastos arcill. otros	cam. conch.
-1130	negra	q, clor, biot, moscov, prx	filadios esquistos micac.	—	clast.arc.con agujas	—
-1130.A	negra-pard-nar	q, calc, opacos	mica esquistos	rocas alterad, arenisca alterad, micrita	clastos q-arcill. clastos calizos	cam.
-1130.B	negra-borde nar	q (met), q, calc, micas, clor.	teconita, anfíbolita cuarcita, micacita,	arenisca otras	clastos arcill. clastos calizos	—

NOTAS. Aspecto: nar, neg, amar: indican color. nucl: núcleo.

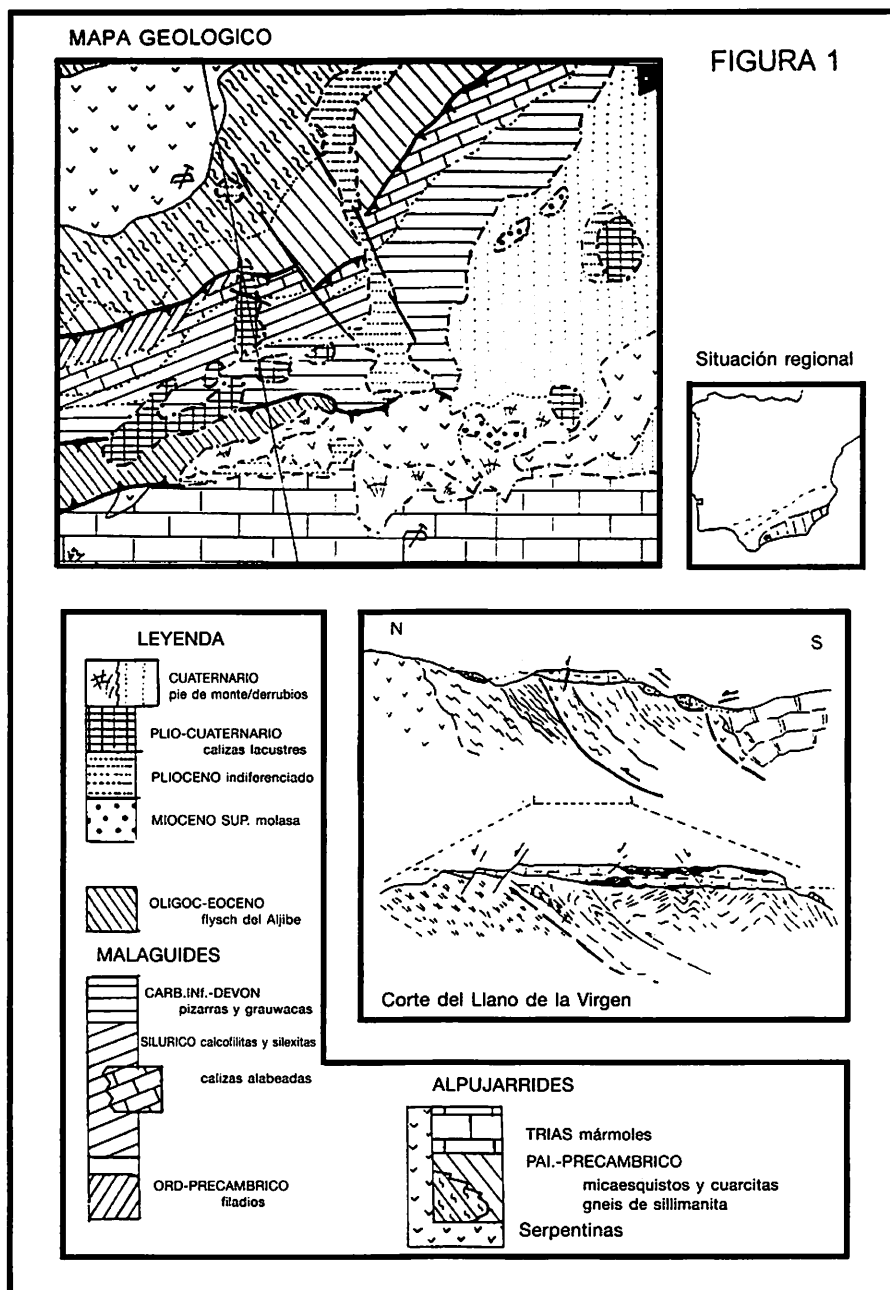
Minerales: anfb: anfíboles, biot: biotita, cal: calcita, clor: clorita, dol: dolomita, hemat: hematites, hrnb: hornblenda, opac: opacos, or: ortoclasas, prx: piroxenos, plg: plagioclasas, q: cuarzo, sanid: sanidina, silliman: sillimanita, etc.

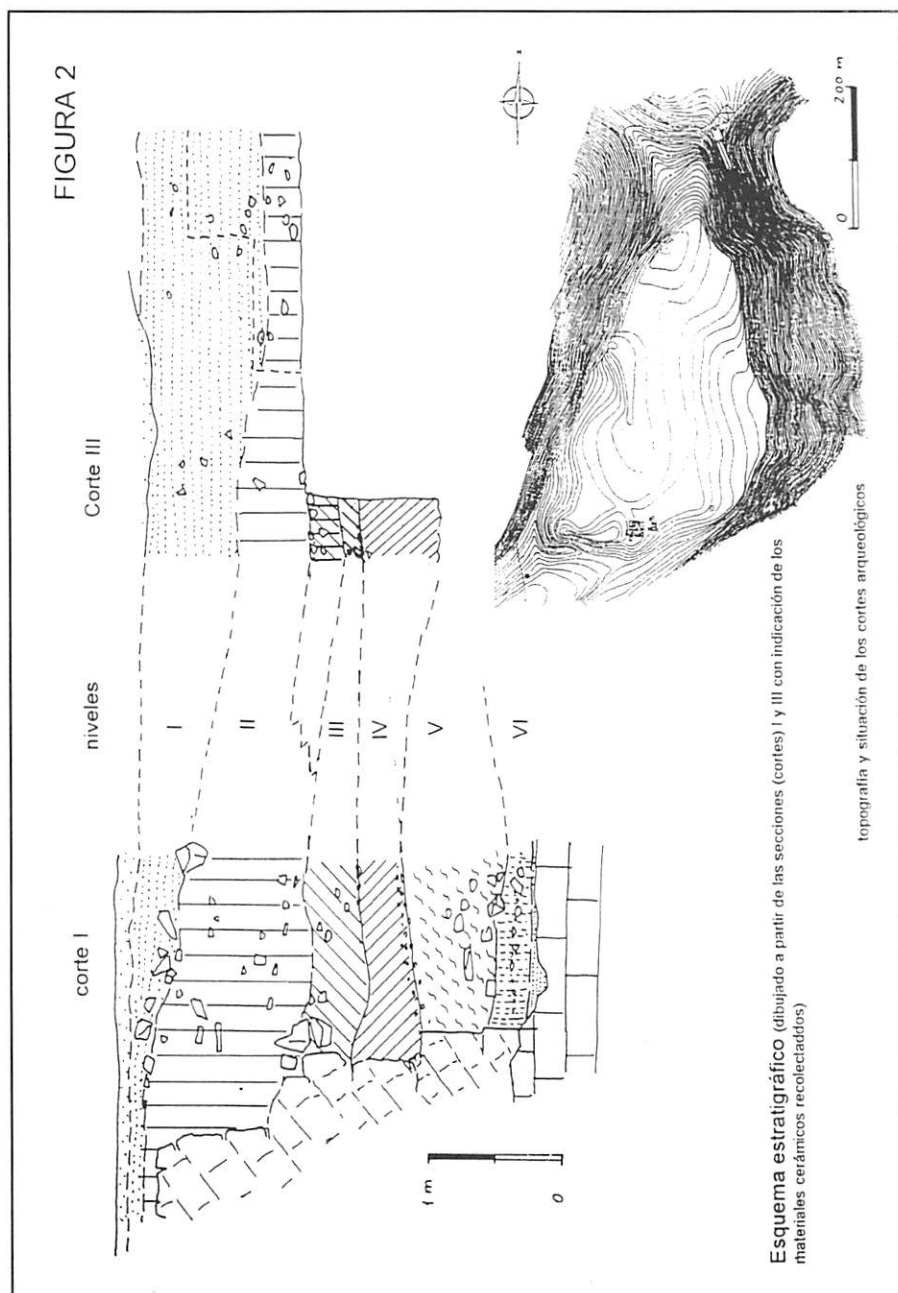
En Fósiles: cam. indica camarillas sueltas; conch. conchas de lamelibranquios; bilob. bilobulados.

TABLA II. Análisis textural estimativo en % (datos de lámina delgada).

MUESTRA	MATRIZ	ESQUEL.	Minerales	Rocas	Fósiles	AGREG.	HUECOS
154	45-55	7-8	5	2	<1	15-20	<15
214	64-70	(7-9)	10	3-4	>0	8-10	7-9
1160	60	10	4	5	0	23-28	9
1032	60 65-70	15-20 20	3/4 15	1/4 5	1 >0	15 15-20	8 +<8
1043	>40	15-20	>15	<5	0	><10	7-5
-1299	>80	<16	<10	<5	1	<5	<5
-1324	60-70	15	>5	<10	0	5-10	10
-1327	60-70	<30	<20	10	0	<5	10
-792	<50	8	4	3	1	30	<15
-797	>50	30-35	25-30	<10	0	<5	<10
-841	<30	13	8	5	0	40-50	17<20
-842	20	8	5	2	1	2	<65
-852	45	31	7	23	1	<5	10
-870	50	29	16	11	2	<5	11
-1121	>50	10	5	4	1	25-<30	5-20
-1130	>60	<10	5	5	0	10-15	<20
-1130A	25	>7	3	3	1	50	20
-1130B	55	20	8	12	0	<10	<10
-1334	60-70	12	5	6	1	8	10

NOTAS: Matriz: generalmente arcillosa. ESQUEL: esqueleto mineral (minerales + rocas + fósiles). AGREG: agregados y clastos arcillosos. HUECOS: grietas, huecos y poros visibles. A veces se dan valores distintos en la misma lámina: bordes y núcleo, cuando las diferencias son significativas.





ESTUDIO ARQUEOMÉTRICO DE CERÁMICAS IBÉRICAS DEL YACIMIENTO DEL TORRELLÓ DE ALMASSORA (CASTELLÓN)

por

F. FERNANDES, M. M. JORDÁN, J. D. MARTÍN, T. SANFELIU¹
y G. CLAUSELL²

RESUMEN

En este trabajo se han estudiado la composición química y mineralógica de una serie de fragmentos cerámicos procedentes del yacimiento del Torrelló de Almassora, con la intención de formar grupos arqueológicamente homogéneos mediante el empleo de técnicas estadísticas multivariantes.

Así pues, se pretende analizar la relación entre la composición química y mineralógica de los fragmentos y su pertenencia a un período histórico determinado.

Mediante estas técnicas estadísticas se ha podido determinar las variables que aportan una mayor información en la clasificación de las muestras, lo cual puede resultar de interés para futuros estudios en esta línea de investigación.

Finalmente cabe decir que, con vistas a determinar el posible origen local de algunos de los fragmentos estudiados, se analizaron muestras de arcilla extraídas de un lugar próximo al Torrelló. De esta forma se pudo llegar a diferenciar de forma estadística los fragmentos que con mayor probabilidad tenían un origen autóctono.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realizó un estudio mineralógico y químico, de una serie de fragmentos cerámicos arqueológicos, procedentes del yacimiento del Torrelló de Almassora, situado en la provincia de Castellón.

1. Unidad de Mineralogía Aplicada y Ambiental de la Universidad Jaume I de Castellón.

2. Ayuntamiento de Almassora (Castellón).

En el análisis mineralógico se empleó la técnica de difracción de rayos X. El análisis químico de los fragmentos cerámicos se realizó mediante espectroscopia de absorción atómica y fluorescencia de rayos X, al mismo tiempo se analizaron muestras de arcilla cocida tomada de un yacimiento cercano, para estudiar la posible procedencia de las muestras arqueológicas.

Dado que resulta muy complejo, si no imposible, establecer relaciones teóricas entre la composición original de una arcilla y la del objeto final obtenido, hubo que recurrir a técnicas estadísticas de análisis multivariante (Cuadras, 1982) que permitieran tratar el problema en términos de probabilidad.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL Y RESULTADOS ANALÍTICOS

El estudio se realizó en dos fases, en la primera se seleccionaron 11 muestras de origen variado (Muestras G), intentando abarcar el mayor número de pastas y grupos arqueológicos, con el menor número de muestras, de forma que se esbozaran los grupos presentes.

Estas 11 muestras fueron analizadas por DRX y por absorción atómica; con estos datos se realizó un análisis de reducción de variables formándose varios grupos, además se realizó un análisis cluster que confirmase los grupos formados.

Seguidamente se aplicó el criterio arqueológico de forma que se eliminasen aquellas muestras que por diversos motivos (formas, decoraciones, etc.) no podían estar en los grupos en los que se los había clasificado. De esta forma se obtuvieron las muestras que formaban los núcleos de los grupos que posteriormente se verían ampliados en la segunda fase del estudio.

Una vez se vieron los grupos formados se escogieron otras 41 muestras (F) que pertenecían (según criterio arqueológico, es decir, tipo de decoraciones, aspecto externo de la pasta, etc.) a los grupos formados en la primera fase, de forma que se perfilasen con mayor definición dichos grupos y se pudiese obtener una información estadística más fiable. Estas muestras fueron estudiadas por DRX y por fluorescencia de rayos X.

En la exposición del trabajo experimental que se hace a continuación se ha optado por presentar las dos fases del estudio unidas de manera que resulte más sencilla la comprensión del estudio estadístico realizado, y pueda verse con mayor claridad los grupos formados.

Análisis mineralógico

Se han estudiado un total de 52 muestras, que presentan una composición cualitativa bastante similar pero con importantes diferencias en el análisis cuantitativo. Las muestras poseen cuarzo como componente principal, fases micáceas con distinto grado de alteración en su red cristalina, feldespatos (potásicos y plagioclasas), hematites, calcita y, en algunas de ellas, fases de alta temperatura como pseudowollastonita y/o wollastonita, gehlenita o anortita como fase originada durante el enfriamiento de la fase vítrea.

La identificación de las fases minerales presentes se ha efectuado mediante fichas JCPDS, usando el paquete de software Diffract-AT. También se ha realizado un estudio semicuantitativo de cada una de las fases según los criterios expuestos por Chung (1976). Se trata, en realidad, de un análisis semicuantitativo, que tiene un carácter orientativo por minerales que se hallan en porcentajes inferiores al 5%, pero de gran utilidad para el estudio comparativo de muestras de la misma procedencia.

2.1.1. Resultados y discusión

A continuación se representa una tabla con los porcentajes relativos de cada fase mineral de las muestras analizadas:

Tabla 1

MUESTRA	Q	AN	PLG	CA	HE	GE	I	MON
F1	33,1	24,9	22,1	4,2	15,7	0,0	0,0	0,0
F2	22,0	1,5	0,0	55,1	0,0	5,2	16,2	0,0
F3	7,5	0,0	0,0	92,5	0,0	0,0	0,0	0,0
F4	11,6	0,0	0,0	88,4	0,0	0,0	0,0	0,0
F5	7,1	0,0	13,7	3,5	0,0	0,0	75,6	0,0
F6	45,7	27,7	17,2	9,3	0,0	0,0	0,0	0,0
F7	53,8	0,0	12,0	0,0	0,0	0,0	34,2	0,0
F8	24,4	0,0	0,0	75,6	0,0	0,0	0,0	0,0
F9	6,7	12,4	14,4	2,7	0,0	0,0	29,9	34,0
F10	31,5	0,0	0,0	68,5	0,0	0,0	0,0	0,0
F11	12,9	0,0	0,0	87,1	0,0	0,0	0,0	0,0
F12	54,8	0,0	0,0	45,2	0,0	0,0	0,0	0,0
F13	16,4	5,1	6,1	35,5	0,0	0,0	36,9	0,0
F14	78,6	15,1	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0
F15	72,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,1	0,0
F16	51,1	4,8	5,6	6,6	0,0	0,0	32,0	0,0
F17	68,4	9,7	6,5	9,8	0,0	5,6	0,0	0,0
F18	59,6	17,9	0,0	10,9	0,0	11,6	0,0	0,0
F19	54,4	25,3	11,3	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0
F20	13,1	10,4	4,7	4,3	0,0	2,9	26,6	37,9
F21	19,8	46,6	4,4	7,1	0,0	6,9	15,2	0,0
F22	92,7	0,0	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F23	48,3	7,6	0,0	7,5	0,0	0,0	36,5	0,0
F24	65,6	11,3	6,2	8,5	0,0	8,5	0,0	0,0
F25	54,8	19,0	8,6	8,6	0,0	8,9	0,0	0,0
F26	49,2	12,3	10,8	6,3	14,2	7,2	0,0	0,0
F27	51,7	23,6	13,9	10,8	0,0	0,0	0,0	0,0
F28	55,1	17,2	8,6	9,2	0,0	9,8	0,0	0,0
F29	57,9	0,0	3,4	11,3	0,0	0,0	27,4	0,0
F30	16,5	19,6	10,2	0,0	17,4	0,0	36,3	0,0
F31	77,1	0,0	16,9	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F32	63,4	6,0	10,0	20,6	0,0	0,0	0,0	0,0
F33	62,0	15,6	7,8	14,5	0,0	0,0	0,0	0,0
F34	70,2	7,7	11,1	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F35	27,5	38,5	22,8	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 1 (continuación)

MUESTRA	Q	AN	PLG	CA	HE	GE	I	MON
F36	16,4	6,0	56,4	16,3	0,0	4,9	0,0	0,0
F37	18,2	7,2	0,0	4,4	0,0	5,0	30,7	34,6
F38	56,6	0,0	0,0	43,4	0,0	0,0	0,0	0,0
F39	19,8	0,0	0,0	73,2	0,0	7,0	0,0	0,0
F40	39,8	0,0	0,0	60,1	0,0	0,0	0,0	0,0
F41	21,4	0,0	0,0	54,4	0,0	0,0	24,2	0,0
G1	29,3	38,4	20,3	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0
G2	7,5	13,2	15,7	0,0	0,0	0,0	63,7	0,0
G6	65,4	10,3	10,3	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0
G7	69,6	24,3	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0
G8	12,1	5,8	4,0	3,3	12,4	0,0	62,3	0,0
G10	31,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	68,2	0,0
G18	10,5	17,1	0,0	0,0	0,0	37,0	35,3	0,0
G21*	76,4	11,8	11,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
G24**	59,0	41,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
G27	14,0	15,5	0,0	36,9	0,0	33,6	0,0	0,0
G28	43,4	16,8	0,0	13,8	0,0	26,0	0,0	0,0

Leyenda: Q = Cuarzo; An = Anortita; Plg = Plagioclasas; Ca = Calcita; He = Hematites; Ge = Gelenita; I = Illita; Mon = Montmorillonita.

Para finalizar, hay que citar la existencia de unas muestras, cuyo análisis por DRX nos ha llevado a considerarlas como especiales, por contener fases minerales distintas al resto, que aportan una valiosa información de la manufactura y origen de las piezas y que no han podido ser cuantificadas por carecer de constantes específicas.

La muestra G21 (*) se caracteriza por la presencia de andalucita (Al_2SiO_5 , mineral que se forma típicamente en aureolas de contacto de intrusiones ígneas en rocas arcillosas). La presencia de andalucita indica que la cerámica estudiada es de importación, muy probablemente del sur de la península, área de producción cerámica. Además, esta muestra posee carbonatos no cálcicos en su composición, concretamente se ha detectado la presencia de magnesita (Fe,MgCO_3). El resto de componentes es el habitual (cuarzo, illitas, anortita). Esta observación se vio confirmada por análisis petrográfico de lámina delgada, analizándose también con esta técnica la muestra G-24 (**) apareciendo fragmentos de rocas ácidas de tipo granito y esquisto. Se observan cristales que pueden ser de augita (diópsido), con iddingsita y olivino. Estos minerales de origen volcánico sugieren un origen común a la muestra G-21, probablemente el sur de la península.

Análisis químico

Análisis por absorción atómica: resultados y discusión

Los resultados obtenidos tras el análisis en porcentaje de óxidos omitiendo la P.P.C. y normalizando a 100 el resto de variables, son los siguientes:

Tabla 2

	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SiO ₂	TiO ₂	Na ₂ O
G1	11,83	18,93	2,53	3,76	3,43	57,18	1,14	1,20
G2	11,45	19,64	1,87	3,76	5,23	54,92	1,89	1,24
G6	7,62	17,73	7,72	2,20	3,18	60,28	0,80	0,47
G7	8,83	18,31	6,69	1,84	2,75	60,23	0,90	0,45
G8	6,90	22,60	4,36	1,89	5,40	57,43	0,94	0,49
G10	8,92	18,13	12,72	0,66	3,30	55,24	0,80	0,22
G18	7,65	20,68	5,68	2,12	4,66	57,71	0,97	0,53
G21	7,78	17,93	6,73	2,11	3,40	60,81	0,83	0,40
G24	7,81	25,99	4,22	2,02	5,25	52,99	1,14	0,58
G27	7,03	17,63	14,08	2,09	4,22	54,17	0,64	0,14
G28	8,05	20,87	7,93	2,75	5,12	54,19	0,78	0,31

Los resultados del análisis químico de arcillas cocidas tomadas de una zona próxima al Torrelló de Almazora se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3

	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SiO ₂	TiO ₂	Na ₂ O
AN65	5,61	18,6	23,7	2,1	3,97	44,7	0,61	0,65
AN66	5,94	18	26,9	2,33	3,89	41,6	0,57	0,78
AN68	5,32	16,6	24,9	2,34	3,58	45,9	0,59	0,73
AN74	5,09	15,9	29,7	2,01	3,43	42,7	0,58	0,62

Análisis químico por fluorescencia de rayos X: resultados y discusión

Los resultados obtenidos tras el análisis en porcentaje de óxidos y normalizando a 100 son los siguientes:

Tabla 4

REF	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
F31	64,02	22,83	1,03	3,76	5,46	1,34	0,19	0,99	0,36	0,02
F39	44,28	11,26	34,85	3,96	1,03	0,75	2,52	1,06	0,25	0,02
F8	45,77	15,14	29,43	4,24	2,37	1,27	0,00	1,37	0,40	0,01
F3	42,00	12,83	36,29	4,30	2,34	0,82	0,02	0,95	0,44	0,01
F10	47,76	14,84	28,00	4,52	2,30	0,78	0,14	1,36	0,28	0,02
F12	58,32	18,10	13,81	5,00	2,12	0,82	0,07	1,42	0,31	0,02
F2	60,57	11,49	18,26	5,02	2,03	1,15	0,00	1,20	0,27	0,01
F41	52,00	17,65	19,03	5,03	3,46	1,02	0,07	1,39	0,33	0,03
F21	55,35	17,86	13,72	5,08	4,29	2,27	0,02	1,00	0,36	0,04
F7	70,74	16,20	0,97	5,13	3,69	1,29	0,75	0,99	0,18	0,05
F29	58,66	18,52	10,17	5,15	4,19	2,01	0,02	0,98	0,27	0,03
F4	40,05	14,97	35,41	5,24	2,21	0,95	0,00	0,95	0,19	0,03
F40	51,63	16,72	20,84	5,24	2,66	0,84	0,15	1,47	0,37	0,07
F24	63,81	13,46	10,10	5,44	2,05	2,82	0,66	1,15	0,39	0,13
F11	43,59	13,93	32,60	5,48	1,57	0,78	0,10	1,29	0,57	0,08
F36	54,65	15,62	16,06	5,61	3,32	2,55	0,70	1,05	0,37	0,08
F13	51,41	18,87	14,74	5,82	4,42	3,13	0,04	1,23	0,29	0,05
F25	61,27	15,83	9,11	5,98	2,55	2,76	0,61	1,35	0,40	0,13
F27	61,35	15,44	9,19	6,06	2,33	3,27	0,82	1,02	0,37	0,13
F28	60,22	15,58	10,32	6,11	2,49	3,03	0,59	1,08	0,43	0,14
F16	62,98	15,09	8,30	6,14	2,81	2,48	0,66	1,17	0,28	0,09
F34	62,01	17,66	7,04	6,19	2,78	2,43	0,40	0,98	0,35	0,16
F19	61,58	16,08	7,04	6,30	2,95	2,68	1,91	1,00	0,37	0,10
F33	62,46	16,78	7,14	6,34	2,72	2,32	0,60	1,16	0,31	0,17
F32	58,08	21,24	7,01	6,38	2,55	2,15	1,16	0,91	0,36	0,16
F35	54,04	20,76	9,11	6,45	3,62	2,22	1,44	1,89	0,41	0,07
F30	54,87	23,97	4,90	6,50	4,62	2,56	0,85	1,39	0,28	0,06
F38	55,13	18,05	14,48	6,51	2,60	0,90	0,35	1,63	0,33	0,03
F26	61,31	17,41	7,17	6,58	2,68	2,50	0,60	1,22	0,35	0,18
F23	59,94	19,72	5,94	6,70	2,83	2,35	0,62	1,29	0,49	0,13
F17	62,37	17,15	6,53	6,86	2,68	2,29	0,41	1,14	0,38	0,20
F18	62,27	17,11	6,50	7,03	2,65	2,31	0,40	1,16	0,35	0,21
F14	61,61	17,99	5,55	7,13	3,09	2,46	0,73	0,96	0,36	0,11
F6	57,99	20,12	3,08	7,42	3,05	4,59	1,72	1,53	0,37	0,12
F22	60,96	18,58	4,70	7,73	3,35	2,33	0,65	1,02	0,55	0,14
F9	54,58	21,97	2,98	7,81	3,34	5,37	1,70	1,66	0,54	0,06
F20	57,24	20,18	6,38	8,04	3,05	2,69	0,75	1,25	0,29	0,13
F37	56,07	20,80	6,59	8,20	3,15	2,66	0,66	1,43	0,32	0,13
F15	62,98	19,69	2,15	9,06	2,42	1,83	0,29	1,11	0,25	0,22
F1	59,66	18,12	1,62	9,39	3,74	3,02	2,08	1,81	0,50	0,05

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tras efectuar un análisis de componentes principales y un análisis cluster que nos permitieron determinar los grupos existentes y eliminar aquellas muestras discordantes, se realizó el análisis discriminante definitivo que mostraría las ecuaciones clasificadoras de cada grupo.

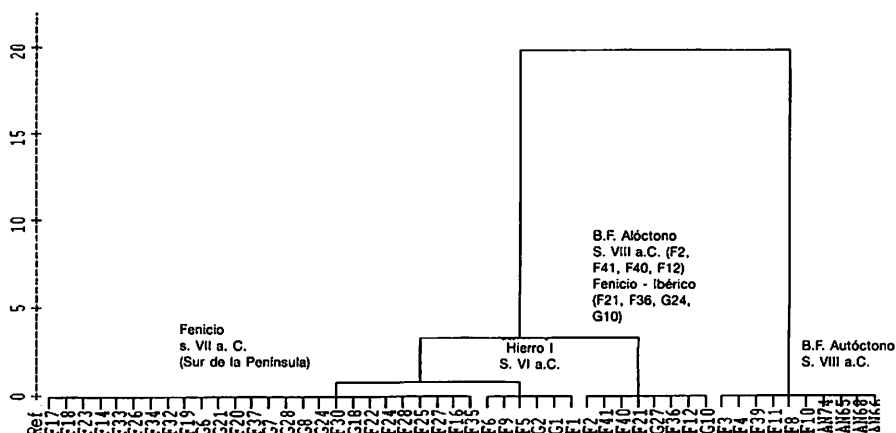


Figura 1. Análisis Cluster.

Las ecuaciones discriminantes son:

$$D_1 = -0.3722(\text{CaO}) + 0.4891(\text{Fe}_2\text{O}_3) - 0.5768(\text{K}_2\text{O}) + 0.9204(\text{MgO}) + 0.3291(\text{Na}_2\text{O}) + 1.9528(\text{TiO}_2) - 1.313$$

$$D_2 = 0.2995(\text{CaO}) + 0.8958(\text{Fe}_2\text{O}_3) + 0.1402(\text{K}_2\text{O}) + 1.4546(\text{MgO}) + 0.9389(\text{Na}_2\text{O}) + 1.5710(\text{TiO}_2) - 15.980$$

La ecuación discriminante 1 presenta un coeficiente de correlación canónica del 0.9826 y la ecuación 2 del 0.9069. Ambas ecuaciones permiten clasificar correctamente a un 98.71% de las muestras y su nivel de significación se sitúa en ambos casos por debajo del 1%, lo que significa que estos ejes son capaces de separar significativamente a las muestras estudiadas.

A continuación se muestra el mapa territorial del análisis discriminante, formado con los grupos existentes.

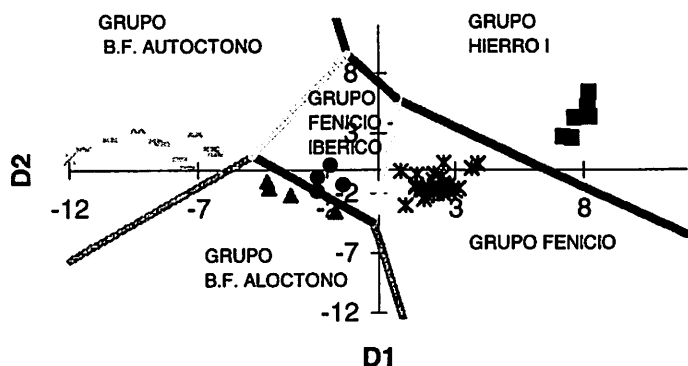


Figura 2. Mapa territorial.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos es posible extraer una serie de conclusiones que se comentan a continuación.

- Una de las conclusiones de mayor relevancia es la comprobación de que las muestras analizadas se dividen en cinco grupos principales.
- El DRX es una técnica de gran ayuda en ocasiones, puesto que, si aparecen fases minerales no existentes en la zona del yacimiento, se demuestra sin duda alguna el carácter de importación de la muestra, caso de la G21, que presenta andalucita.
- Se ha demostrado estadísticamente que algunas de las muestras estudiadas (grupo Bronce Final Autóctono) son clasificadas por el análisis cluster junto con las muestras de arcilla cocida procedentes de un yacimiento arcilloso cercano al Torrelló, con lo que se afianza la idea de su posible origen local, mientras que el resto de las muestras posiblemente sean de importación.
- A nivel arqueológico se observa cómo las piezas del grupo Hierro I presentan decoraciones con incisiones que recuerdan a piezas del medio y bajo Ebro, incluso por las formas que presentan cabría relacionarlas con la zona de Navarra. Las muestras del grupo Bronce Final Alóctono provienen según sus formas del sur de la península y son en general piezas poco elaboradas con mucho desgrasante. El grupo Fenicio y Fenicio-Ibérico proviene posiblemente también del sur-sureste de la península, encontrándose en este grupo piezas cocidas a distinta temperatura, lo que indica probablemente distintos usos. Finalmente, el grupo Bronce Final Autóctono está compuesto por las muestras F-4 y F-39 que son orzas grandes para almacenaje de alimentos, por lo que no es probable su traslado, lo que corrobora la idea de su origen local, y por las muestras F-11 y F-10, que presentan unas formas típicas de

los materiales del bronce medio del País Valenciano, recibiendo el nombre de cazuelas acampanadas.

Todas estas ideas de base arqueológica afianzan los resultados obtenidos por el análisis estadístico, lo que indica que estas técnicas son como mínimo una herramienta a tener en cuenta en cualquier estudio arqueológico.

BIBLIOGRAFÍA

BISQUERRA ALZINA, R.

(1989) *Introducción conceptual al análisis multivariable. Un enfoque informático con los paquetes SPSS-X, BMDP, LISREL y SPAD*, Ed. PPU, Barcelona.

GÓMEZ SIURANA, M. D.

(1987) *Caracterización de cerámicas arqueológicas de la provincia de Alicante por aplicación de análisis estadístico multivariante a los datos de composición química*, Tesis Doctoral, Universidad de Alicante, Facultad de Ciencias, División de Ingeniería Química, pp. 5-10, pp. 93-109.

GONZÁLEZ, M.^a C. *et alii*

(1985) *Noticiario Arqueológico Hispánico*, 21, pp. 159-174.

JORDÁN, M. M., BOIX, A., SANFELIÚ, T.

(1994) *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 17-1, pp. 32-33.

POLVORINOS, A. J.

(1994) *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 17-1, p. 31.

SANFELIÚ MONTOLÍO, T.

(1991) *Mineralogía de Arcillas Cerámicas de Castellón*, Diputación de Castellón.

SHEPARD, A. O.

(1956) *Ceramics for the Archeologist*, Ed. Carnegie Institution of Tarradel, M. (1951): Zephyrus, 2, pp. 43-45.

URIEL JIMÉNEZ, E.

(1995) *Análisis de datos. Series temporales y análisis multivariante*, Ed. AC, Madrid.

CERÁMICA COMÚN ROMANA DEL YACIMIENTO DE LOMA DE CERES (GRANADA, ESPAÑA). PRIMEROS DATOS SOBRE TECNOLOGÍA Y PROCEDENCIA DE MATERIALES

por

S. NOGUERAS VEGA¹, J. DURÁN SUÁREZ²,
C. CARDELL FERNÁNDEZ³, M. A. PÉREZ CRUZ¹,
A. SÁNCHEZ NAVAS³, N. MARÍN DÍAZ¹, J. RODRÍGUEZ GORDILLO³

RESUMEN

Las correspondencias químicas y mineralógicas entre las piezas cerámicas del yacimiento arqueológico de Molvízar (Granada, España), y muestras de arcillas de la pileta de decantación y del entorno geológico muestran la naturaleza autóctona de esta cerámica. El análisis textural y de posibles fases (minerales) de neoformación indican un margen de temperatura de cocción entre 700 y 860 °C.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presentan parte de los resultados que se vienen obteniendo en el marco del Proyecto de Investigación «Arqueometría de cerámicas. Aplicación del análisis mineralógico, químico y textural». Se refieren al estudio composicional, tecnológico y origen de la cerámica común del yacimiento romano de Molvízar, próximo a la costa de Granada. Los datos de composición química y mineralógica y los estudios texturales de las piezas, junto con el de muestras geológicas del entorno han propiciado las diversas conclusiones sobre procedencia de las piezas, temperaturas de cocción y manufactura.

Los materiales objeto de este estudio pertenecen a las intervenciones arqueológicas realizadas en el yacimiento romano de Loma de Ceres, villa altoimperial situada a pocos Km. de la costa granadina entre Salobreña y Almu-

1. Departamento de Historia Antigua. Universidad de Granada.

2. Departamento de Escultura. Universidad de Granada.

3. Departamento de Mineralogía y Petrología. Universidad de Granada.

ñécar. Los trabajos desempeñados en tres campañas de excavación, durante los años 1987 y 1988, llevaron al descubrimiento de la «pars rustica» y la «pars fructuaria» de una villa dedicada a la producción de vino principalmente, aunque también se recuperaron elementos que hacen pensar en la existencia de una «pars urbana». La presencia de una pileta de decantación de arcilla, así como de fragmentos de cerámica con defectos de cocción vienen a demostrar la producción de cerámica en esta villa. Esta asociación explica que la mayor parte de esa producción consistiera en ánforas destinadas a contener no sólo el vino producido en esta villa, sino también el de otros centros cercanos.

Las muestras estudiadas han sido: 12 fragmentos de cerámica común correspondientes a fondos (LC2 a LC5); asas (LC1 y LC9); bordes de cuencos (LC6, LC7 y LC11); borde y pared de olla (LC8); borde de tapadera (LC10); borde y asa (LC12); 6 muestras geológicas de las cuales 2 son muestras arcillosas tomadas de la pileta de decantación (G1 y G2), y limos (G3), arcillas (G4 y G6), y esquistos con limos y arcillas (G5) del entorno del yacimiento. En cuanto a las técnicas analíticas empleadas, la composición mineralógica de cerámicas y material geológico ha sido establecida mediante Difracción de Rayos X (DRX). Para el análisis químico se ha recurrido a la Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Espectrometría de Emisión de Plasma (ICP). Las Microscopías óptico-petrográfica (MOP) y Electrónica de Barrido (SEM) han permitido el análisis textural de las piezas, y profundizar en el conocimiento de su composición mineralógica. Mediante Microscopía Electrónica de Transmisión de Alta Resolución (HTEM) se ha establecido la composición química de fases vítreas y cristalinas en las piezas de mayor temperatura de cocción.

RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En las tablas 1 y 2 se recogen los datos de composición química y mineralógica de las muestras cerámicas y geológicas. En la tabla 3 se presenta la composición química de diversas fases vítreas y cristalinas de la muestra LC10. Finalmente, en la gráfica 1 se recogen diversas correlaciones entre elementos mayoritarios y minoritarios de cerámicas y muestras geológicas. Los resultados ponen de manifiesto que las muestras geológicas son en general ricas en illitas, esmectitas y clorita-kaolinita. En general todas contienen pequeñas proporciones de Dolomita y la relación Ca/Mg es lineal entre ellas. Por lo que respecta a la composición mineralógica de las cerámicas, presentan en general una gran homogeneidad y en todas ellas el cuarzo es la fase predominante. Correlaciones entre elementos mayoritarios y minoritarios (gráfica 1) muestran una gran correspondencia entre muestras cerámicas y geológicas, sobre todo en relación a las arcillas de la pileta de decantación.

El estado textural ha revelado que los procesos de fusión y vitrificación se dan en diversos grados, siendo en unos casos más o menos evidentes (LC9, LC10 y LC11) y en otros inapreciable (LC1, LC6 y LC8).

En general, las cerámicas son de baja temperatura. La permanencia de minerales como kaolinita-clorita y dolomita, minerales que se destruyen en el en-

torno de 750-650 °C indican que la temperatura de cocción no debió exceder de los 700 °C. Las muestras LC4, LC9 y LC11 han estado sometidas a temperaturas superiores pues se detectan en ellas fases de alta temperatura tipo diópsido y ghelenita que aparecen a partir de 850-870 °C; no obstante, las pequeñas proporciones presentes de estas fases implica que no debieron superarse ampliamente las temperaturas indicadas.

Concluimos resaltando la autoctonía de las piezas respecto al alfar del yacimiento, dada la excelente correlación entre cerámicas y arcillas de la pileta. Asimismo, el proceso de cocción abarcó temperaturas entre 650-870 °C aproximadamente. Por otra parte, las diferencias observadas entre las cerámicas (texturales, composicionales o de temperaturas de cocción) no guardan relación con la forma o función de las piezas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto de Investigación de la C.I.C.Y.T. PB 93-1145 y por los grupos de Investigación RNM 0179 y PYTER 051 de la Junta de Andalucía. Los datos analíticos han sido obtenidos con la colaboración del Centro de Instrumentación Científica (C.I.C) de la Universidad de Granada.

BIBLIOGRAFÍA

- MARÍN DÍAZ, N.
(1988) *Molvízar en tiempos de los romanos*. Granada.
- GENER, J. M.; MARFIL, P. F.; PUENTEDURA, M.
(1993) Loma de Ceres, un centro de producción anfórico. *II Congresso Peninsular de Historia Antiga*. Coimbra. 971-993.
- PETERS, T. y IBERG, R.
(1978) Mineralogical changes during firing of Calcium rich brick clays. *Ceramic Bulletin*. Vol. 57. n.º 5. 503-509.
- STONT, A. M. y HURST, A.
(1985) Xray diffraction of early iron age pottery from western Norway. *Archaeometry*, 27, 2. 225-230.

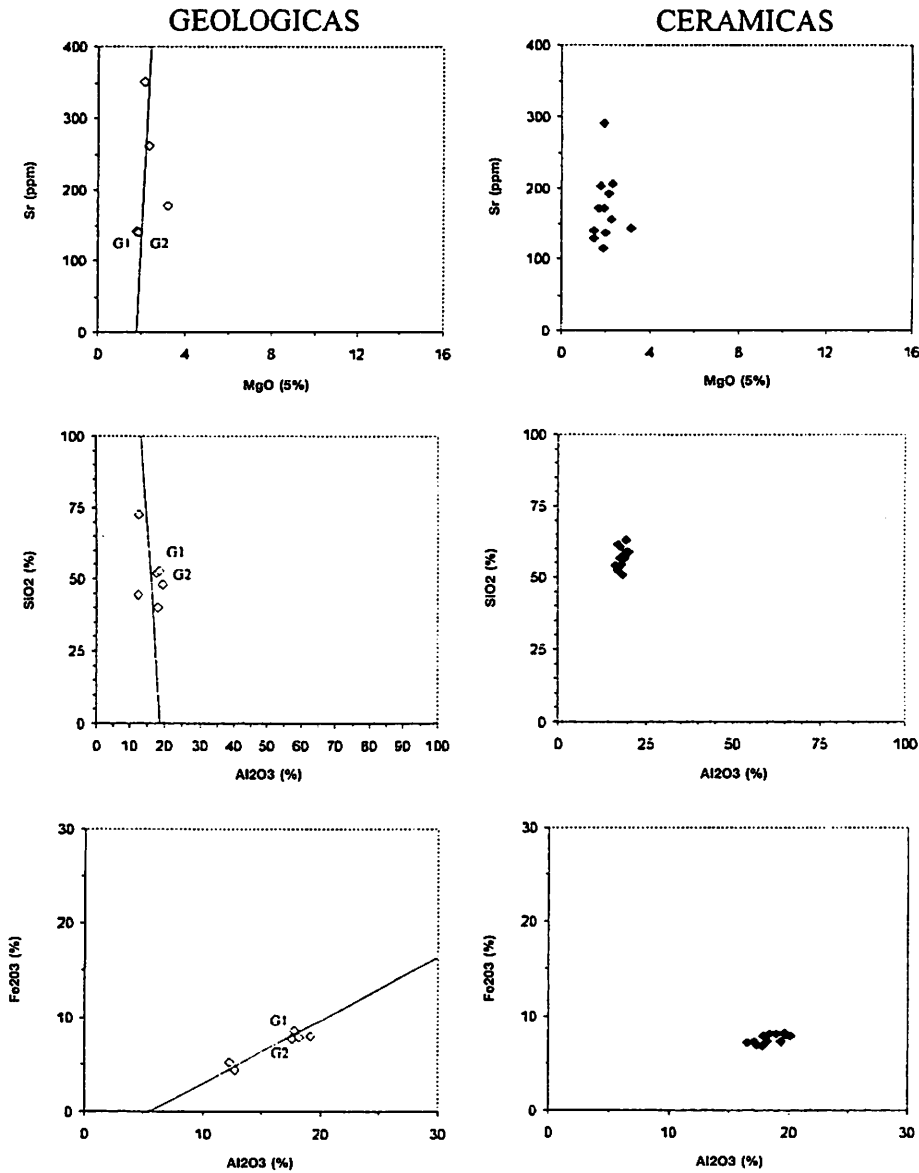


Fig. 1. Correlaciones binarias para cerámicas y muestras geológicas.

Cerámica común romana del yacimiento de Loma de Ceres (Granada, España)

Tabla n.º 1. Composición química de cerámicas (LC) y muestras geológicas (G).

Muestra	AU	NA2O	MGO	AL2O3	SiO2	K2O	CAO	TiO2	V	FE2O3
	PPB	%	%	%	%	%	%	%	PPM	%
LC1	3	0,68	1,91	19,6	63,2	2,28	1,67	0,917	148	8,21
LC2	4	0,64	3,13	16,5	53,8	1,88	4,76	0,731	124	7,2
LC3	3	0,54	1,95	17,1	52,2	2,31	10,1	0,723	142	7,29
LC4	4	0,91	1,66	20,1	58,9	1,94	2,79	0,849	116	7,91
LC5	1	0,8	1,77	17,8	56,8	2,13	4,94	0,787	123	6,74
LC6	-1	0,58	1,49	17,9	60,9	2,51	1,7	0,874	120	7,86
LC7	45	0,64	1,99	18,4	50,8	2,55	4,66	0,763	120	8,14
LC8	7	0,8	2,14	19,3	56,7	2,28	3,73	0,841	96	7,28
LC9	-1	0,67	1,92	17,3	61,6	2,31	4,91	0,846	117	6,87
LC10	1	0,63	2,28	18,9	56,3	2,15	4,47	0,795	119	8,11
LC11	3	0,6	2,3	18,2	54,3	2,42	5,96	0,814	117	7,32
LC12	2	0,55	1,45	19,7	58,7	2,59	2,01	0,842	121	7,93
G-1	3	0,7	1,9	17,6	52,1	2,38	5,55	0,737	118	7,76
G-2	5	0,69	1,9	18,2	52,9	2,61	4,64	0,767	121	7,81
G-3	2	1,08	3,19	12,2	44,6	1,53	14,2	0,689	80	5,21
G-4	-1	0,92	2,16	17,8	40,2	3,77	12,6	0,728	133	8,61
G-5	-1	2,07	1,77	12,7	72,8	1,46	1,2	0,76	70	4,43
G-6	-1	1,84	2,38	19,1	47,9	2,74	7,98	0,937	134	7,92

Muestra	CU	ZN	RB	SR	Y	ZR	BA	CE	PB
	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
LC1	30,7	73,3	99	114	40	268	451	89	31
LC2	34,7	64,7	90	143	28	198	546	75	20
LC3	32	80,4	95	291	30	195	498	79	27
LC4	34,2	66,9	97	171	34	230	551	78	31
LC5	24,8	61,4	92	203	29	225	652	77	27
LC6	19,5	42,6	119	140	34	241	677	80	84
LC7	23,7	63,3	118	136	33	196	469	89	24
LC8	20,8	74,7	101	192	37	243	649	91	17
LC9	18,6	46,3	103	171	33	251	505	84	20
LC10	32,7	80,3	85	156	34	235	621	95	20
LC11	25,8	57,5	114	207	32	215	561	80	34
LC12	24,1	53	116	129	35	215	632	91	40
G-1	29,2	67,8	107	141	30	209	491	84	22
G-2	25,4	64,4	117	139	34	203	468	90	23
G-3	44,1	106	90	178	31	185	442	70	3
G-4	0,5	71,5	180	351	26	106	717	85	28
G-5	28,2	45,4	62	141	30	290	255	68	4
G-6	11	22,1	168	262	43	173	506	102	23

Tabla 2. Composición mineralógica de cerámicas (LC) y muestras geológicas (G). X=mayoritarios; x=contenidos medios; o=minoritarios; .=traza.

Muestra	Qtz	Cal	Dol	Fds	Hem	Di/Gh	K/Cl	Ill	Esm
LC1	X	o	o	x	o			o	
LC2	X	o	.	x			.	o	
LC3	X	x	.	.				o	
LC4	X	.		x	.	.		x	
LC5	X	x	.	x				o	
LC6	X	.	.	.	.			o	
LC7	X	x	x	x	.		.	x	
LC8	X	o		x	.		.	x	
LC9	X	o		o	.	.		o	
LC10	X	x	.	o			.	o	
LC11	X	x		o	o	.		x	
LC12	X	o	.	o			.	x	
G1	X	x	.	x	.			x	
G2	X	x	.	x	o			x	
G3	X	X	o	X				x	x
G4	X	x	.	x				x	o
G5	X	.	.	x				x	x
G6	X	X	.	X				x	x

Tabla n.º 3. Composición de fases vítreas (Vn) y cristalinas de neoformación (Fn) para la muestra LC10

% Átomos	V1	V2	V3	Fn1	Fn2	Fn3
Na	0.966					
Mg	0.979	0.981	0.894	4.748	3.541	
Al	11.169	12.260	12.624	3.519	5.831	11.041
Si	17.173	17.946	17.412	18.444	17.749	15.790
K	0.531	0.332	0.611			
Ca	2.271	1.976	2.042	7.361	5.443	8.041
Ti	0.164		0.244			
Fe	4.666	3.639	3.736	4.753	5.806	3.577
O	62.305	62.866	62.766	61.291	61.784	61.550

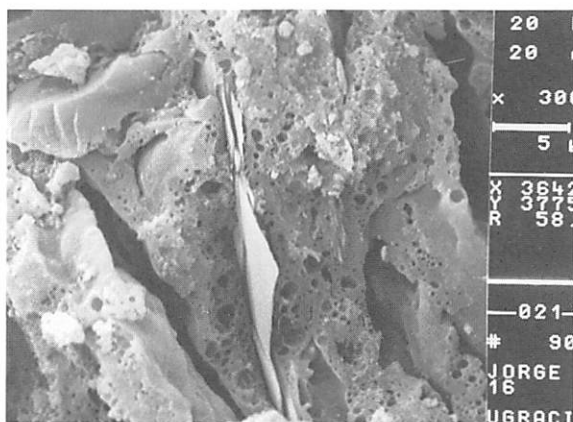


Foto 1. Muestra LC5. Foto SEM. Detalle vitrificación y láminas de arcilla.

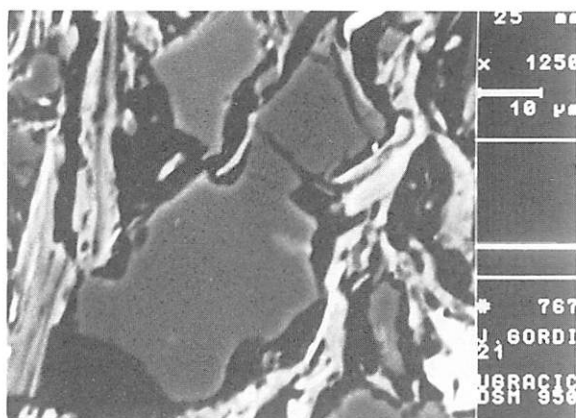


Foto 2. Muestra LC10. Foto HTEM en lámina delgado-pulida. Detalle grano-desgrasante (cuarzo) con bordes de alteración.

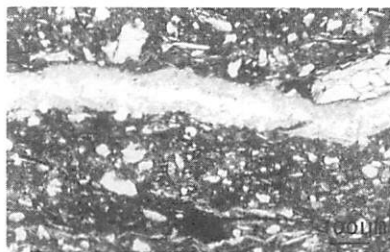


Foto 3. Muestra LC3. Microfotografía de luz polarizada sin analizador. Pasta de baja temperatura de cocción y ambiente oxidante. Detalle de grieta con paredes tapizadas por CO_2Ca de precipitación.

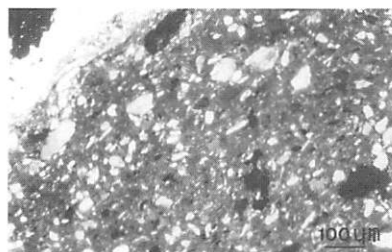


Foto 4. Muestra LC10. Microfotografía de luz polarizada sin analizador. Pasta de baja-media cocción y ambiente oxidante. Detalle de costra carbonatada.

CARACTERIZACIÓN DE CERÁMICAS VIDRIADAS ROMANAS MEDIANTE EL ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CUERPO CERÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES

por

ALFONSO CASTRO¹, JESÚS PINO¹, A. LÓPEZ MOLINERO¹,
JOSEFINA PÉREZ¹, BONIFACIO MARTÍN², NICOLÁS MEDRANO²

RESUMEN

En el presente trabajo se agrupan y asocian geográficamente muestras de cerámicas vidriadas romanas en función de la composición química del cuerpo cerámico. Esta información fue estudiada mediante una técnica muy reciente conocida como redes neuronales artificiales. La determinación de la composición química se realizó en un plasma de acoplamiento inductivo, llegándose a cuantificar hasta 15 elementos por muestra. Se comprobó cómo afectaban estos elementos en la caracterización de la pieza. Los resultados fueron similares a los establecidos mediante análisis estadístico con dendrogramas, pudiéndose agrupar las cerámicas de composición química similar y relacionarlas con su lugar de procedencia. Se vio que las redes neuronales presentaban algunas mejoras frente a los métodos estadísticos como un ahorro de tiempo y la posibilidad de detectar indicios de contaminaciones en las muestras.

1. CERÁMICA VIDRIADA ROMANA

La cerámica vidriada era apreciada en el mundo romano como un objeto de semi-lujo debido a la superficie brillante que presentaba. Lo más habitual es encontrar sólo fragmentos de estas cerámicas, aunque también se incluyeron en el estudio formas como Skyphos, Calyx, etc. Los vidriados presentan variedad de colores: verde, amarillo, marrón, etc., debido a la existencia de trazas de metales como: Cu, Fe, etc.

1. Departamento de Química Analítica. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza.

2. Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones. 50009 Zaragoza.

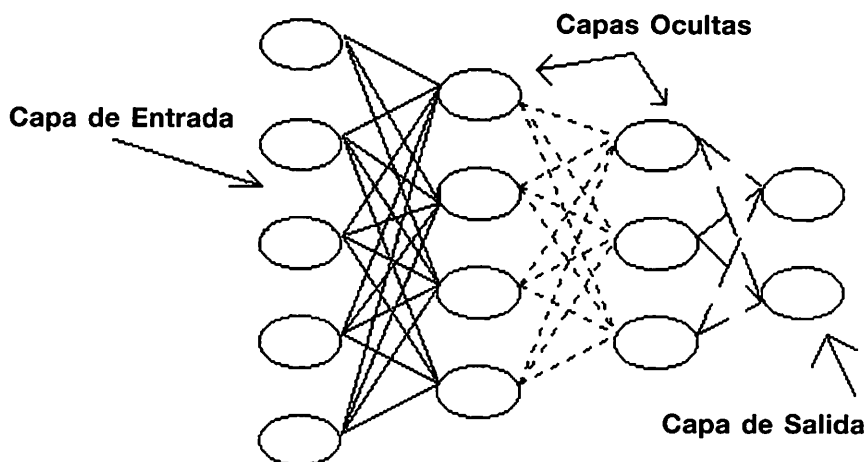


Figura 1. Red Neuronal Artificial.

El período de mayor expansión de la cerámica vidriada fueron los siglos II y III d.c. No obstante, los hallazgos de cerámica vidriada son escasos por lo que puede suponerse que hubo pocas fábricas dedicadas a su manufactura. A veces se puede extraer de la pieza información adicional en la decoración o a través de la cronología. Sin embargo, lo habitual es desconocer de dónde procede la pieza por lo que las técnicas que estudian este aspecto aportan información sobre las posibles rutas comerciales de la época.

En este trabajo se propone la utilización del modelo de MAPAS AUTO-ORGANIZADOS para clasificar las piezas en grupos según su procedencia. Se partirá del supuesto de que las cerámicas vidriadas que tengan una composición química similar pueden estar fabricadas en el mismo sitio, aunque también es posible que se utilicen materiales diferentes en un mismo lugar según la función o el aspecto que fuese a tener la pieza.

REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Desde hace unos años se vienen proponiendo unos modelos de pensamiento que tratan de imitar de forma somera la estructura hardware del cerebro. Estos modelos, que pueden simularse en un ordenador o realizarse electrónicamente, se denominan Redes Neuronales Artificiales [1 y 2]

Las Redes Neuronales Artificiales están constituidas por unidades fundamentales, llamadas *neuronas*, las cuales se agrupan en capas. Varias capas formarán una red y junto a unos estímulos exteriores y unas dinámicas adecuadas de activación y aprendizaje, darán una respuesta al estímulo original (Figura 1). A la intensidad de interacción entre neuronas se le denomina peso sináptico.

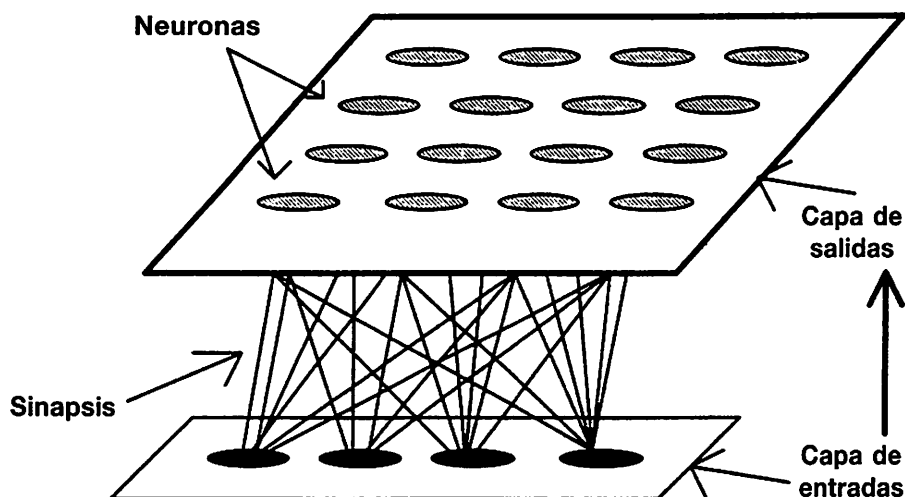


Figura 2. Arquitectura de un Mapa Autoorganizado de Kohonen.

En general, se pueden distinguir tres tipos de capas: una *capa de entrada*, que es la que recibe los datos (o entradas), una o varias *capas ocultas* que procesan datos, y la *capa de salida*, que proporciona la respuesta de la red.

La forma de operar con estos sistemas son dos: **aprendizaje y recuerdo**. El aprendizaje es el proceso por el cual, las redes determinan las intensidades de interacción entre neuronas artificiales, que permitan responder correctamente a las entradas. El tipo de aprendizaje depende del modo como se calculen esas intensidades. Para que las redes neuronales se muestren operativas hay que «enseñarles» a reconocer ciertos patrones, siendo los pesos sinápticos actualizados en cada momento mediante una regla o algoritmo de aprendizaje. En la operación de recuerdo (una vez que el sistema ha aprendido), los pesos y estructura se mantienen fijos quedando la red preparada para el procesamiento de nuevos datos de respuesta desconocida.

Los tipos de aprendizaje son dos [1]:

- **Supervisado:** En este caso se le dice a la red el valor de la respuesta deseada u objetivo.
- **No Supervisado o Autoorganizado:** La red obtiene los rasgos más significativos de los datos de entrada sin indicarles la respuesta que se persigue.

En el presente trabajo se ha empleado el último tipo de redes con el fin de hallar localizaciones claras y diferenciadas unas de otras, a partir de datos de la composición química.

La base de operación de estos modelos no supervisados es la competición: la neurona cuyo vector de pesos sinápticos se parezca más al vector de entradas puede inhibir la activación de las otras reforzando sus propias conexiones

sinápticas. En nuestro caso cada una de las componentes del vector de entrada será la concentración de un elemento químico de una muestra.

El ejemplo más típico de este tipo de redes son los mapas autoorganizados de Kohonen (M.A.K.) [1,2], cuya función es la de formar grupos o categorías de patrones de los que se desconocen sus características o relaciones.

Los M.A.K. se organizan en dos capas (Figura 2):

- *Capa sensorial o de entradas*, la cual distribuye la información a la capa de salidas.
- *Capa de salidas* que forma el mapa bidimensional de los rasgos más significativos extraídos de los patrones.

En el modo de **operación normal** de la red autoorganizada, el vector de pesos de cada neurona permanece fijo. Cuando un vector de entradas se le presenta al mapa autoorganizado, cada neurona calcula la similitud entre este vector y el suyo de pesos sinápticos según un criterio de similitud establecido (por ejemplo, la distancia euclídea). A continuación, la neurona cuyo vector de pesos se aproxima más al de entradas (distancia euclídea próxima a cero), es declarada «*ganadora*» y modifica su vector de pesos de manera que se parezca un poco más al de entradas. El proceso se repite para cada uno de los patrones de entrada.

Durante el **aprendizaje** los pesos de la neurona ganadora y de sus vecinas más próximas son actualizados, de manera que los mapas autoorganizados logran que neuronas próximas reconozcan patrones similares, quedando reflejada sobre el mapa una cierta imagen de las relaciones entre los patrones de entrada. En definitiva, los mapas autoorganizados proyectan el espacio multidimensional de entrada a uno bidimensional, representado por una capa de neuronas.

Al comienzo del aprendizaje, el tamaño de la vecindad suele ser una amplia región del mapa, de manera que se produce una ordenación global de los pesos sinápticos. Durante el proceso del entrenamiento este tamaño de vecindad va disminuyendo, hasta que al final sólo se modifican los pesos de la neurona ganadora.

El algoritmo matemático detallado de este modelo puede consultarse en las referencias [1] y [2]. Este modelo se ha comparado al análisis cluster y a las Escalas Multidimensionales

3. CARACTERIZACIÓN DE LAS PIEZAS

Para realizar el presente estudio se recopilaron los análisis químicos del cuerpo cerámico de un total de 71 cerámicas vidriadas. Los análisis se hicieron con la técnica de emisión atómica basada en un plasma de acoplamiento inductivo (ICP) [3].

Las piezas fueron halladas en diversos asentamientos romanos de lo que hoy es Aragón, destacando por su número las cerámicas de Celsa y Caesar Augusta. Casi todos los objetos pertenecen a colecciones del Museo de Zaragoza.

Los elementos químicos analizados fueron Na, K, Al, Mg, Mn, Ca, Ti, Fe, Sr, Ba, Cr, Ni, Cu, Pb, Zn. Posteriormente, se construyó una tabla con los valores de concentración de estos elementos procediéndose a su normalización.

A continuación se llevó a cabo la fase de aprendizaje ya explicada anteriormente, cuyo resultado es un mapa autoorganizado en el que las cerámicas vidriadas semejantes se localizan en neuronas próximas. (Ver al final del artículo el mapa desarrollado).

Los resultados obtenidos en el mapa se han dividido en tres grupos asignando una letra (A, B o C) a cada uno de ellos, y a su vez en diversos subgrupos, mediante una letra minúscula en la etiqueta de cada muestra.

Grupo	Número de piezas	Procedencia
A	51	¿Italia ?
B	6	Lyon
C	10	Heterogénea

El grupo cuyo lugar de origen es Lyon se dedujo en un estudio estadístico previo, comparando con análisis químicos de cerámicas producidas en Lyon.

Comparamos este novedoso estudio con el tratamiento estadístico clásico [3], comprobando que los resultados eran concordantes. En concreto, los grupos y subgrupos del mapa coinciden con los obtenidos en los dendrogramas a dos distancias de origen.

Pensamos que esta técnica abre nuevas posibilidades para el tratamiento de datos provenientes de materiales arqueológicos, por lo que consideramos útil aprovechar las ventajas específicas de las redes neuronales, tales como:

- Visualización inmediata de la relación entre cada una de las piezas.
- Desarrollar un mapa cuesta únicamente unos pocos minutos.
- Cualquier nueva muestra es inmediata de clasificar introduciéndola en el mapa anteriormente desarrollado.

- Gran capacidad para filtrar datos erróneos, ya que el sistema neuronal da más importancia a que el conjunto de la información sea coherente.

También se hicieron una serie de investigaciones complementarias, cuyos resultados más interesantes fueron los siguientes:

- Introduciendo en la red neuronal patrones definidos por sólo cinco elementos químicos, se clasifican bien las muestras. Esta optimización se consiguió eliminando elementos sistemáticamente.
- Algunos elementos químicos suponen una información redundante, ya que se presentan asociados en la muestra. Esto se supo porque el software de simulación de M.A.K. tiene la opción de un análisis de los mapas de pesos sinápticos de cada elemento químico por separado; y

la distribución de pesos observada en los mapas es similar, lo que se puede interpretar como que la influencia de ambos elementos sobre el resultado final es casi la misma.

- Se detectaron indicios de que cinco de los elementos químicos analizados incorporaban una contaminación, proveniente de la manipulación de las piezas. Esto se dedujo porque en el análisis de los mapas de cada componente individual aparecían islas o pesos negativos dominando casi todo el mapa de análisis.

Elementos mínimos necesarios	Elementos de información redundante	Elementos contaminantes
Na, Al, Mn, Ca, Fe	Na y K	Ni, Cr, Cu, Pb, Zn
	Ti y Al	

Como conclusión, se considera que este tipo de estudios con redes neuronales son un método de procesamiento de datos complementario a los tratamientos estadísticos, y que ante algunos problemas los mapas autoorganizados presentan innegables ventajas, por lo que pronosticamos un desarrollo futuro de la aplicación de esta técnica a materiales arqueológicos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MARTÍN DEL BRÍO, B. y SANZ MOLINA, A.
Redes Neuronales y Sistemas Borrosos. Editorial RA-MA, Madrid, 1997
- [2] KOHONEN, T.
Self-organizing Maps. Springer-Verlag, 1995.
- [3] PÉREZ-ARANTEGUI, J., URUÑUELA, I., CASTILLO, J. R.
(1995) Roman Glazed Ceramics in the Western Mediterranean: Chemical Characterization by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry of Ceramic Bodies. *Journal of Archaeological Science* (1996) 23, 903-914.
- [4] PÉREZ-ARANTEGUI, J.; AGUAROD OTAL, C.; LAPUENTE MERCADAL, M. P.
El material cerámico. Arqueometría y caracterización de materiales arqueológicos. *Cuadernos del Instituto Aragonés de Arqueología*. Teruel, 1996.

MAPA AUTOORGANIZADO DESARROLLADO.													
Elementos considerados : Na, K, Al, Mg, Mn, Ca, Ti, Fe.													
B-9	V-62			B-32		C-72		C-28		V-45			
		B-31/B-41						C-15		V-44		C-22	
Ac-24	B-29			B-46									
	Ac-3		Ab-10			C-14		C-38		C-53		C-23	
		Ab-12	Ab-11	Ab-42				C-40		C-26			
Ac-39			Ab-1			Ab-47				Ab-69			
	Aa-8	Aa-34				Ab-48		Ab-37		Ab-56		Ab-59	
Aa-4	Aa-5/Aa-7		Aa-52		Ab-54								
Aa-25	Aa-33			Aa-55		Ab-57		Ab-58		Ab-70		Ab-76	
	Aa-27	Aa-b6	Aa-a6					Ab-60					
Aa-67						Ab-36		Ab-61		Ab-68			
	Aa-83	Aa-18		Aa-51			Ab-43			Ab-2			
	Aa-66	Aa-35	Aa-71				Ab-64						
V-20	Aa-65			Ad-63		Ad-75		Ab-82		Ae-21		Ae-74	

ESTUDIO DE UNA SELECCIÓN DE LADRILLOS Y TÉGULAS DEL YACIMIENTO DE URSO (SEVILLA)

por

V. FLORES ALÉS¹, A. GUIRAUM PÉREZ y J. BARRIOS SEVILLA²

RESUMEN

El presente trabajo comprende la caracterización física, química, mineralógica y térmica de un grupo de quince piezas, tégulas y ladrillos, procedentes del yacimiento de Urso, situado en los alrededores de la actual ciudad de Osuna, a unos cien kilómetros al noroeste de Sevilla capital, siendo uno de los principales asentamientos de época romana de la provincia.

A partir del análisis estadístico mediante análisis factorial se han extraído diversas conclusiones con respecto a las composiciones de las piezas y los procesos de elaboración, y que junto a las consideraciones correspondientes a los resultados de los análisis realizados conforman las conclusiones finales de todo el trabajo.

INTRODUCCIÓN

La antigua ciudad de Urso, fundada a finales del siglo III a.C., se halla situada al noroeste de la actual ciudad de Osuna, en un entorno de margas calcáreas. Tanto al norte como al sur del afloramiento de estas margas se extienden dos grandes zonas de arcillas, areniscas y margas ricas en yeso, en las que se encuentran diversas canteras abandonadas. Los barreros próximos a Osuna presentan masas compactas de arcillas limosas con un contenido variable en carbonato cálcico, de color blancuzco o verde, en función de este contenido. Al igual que casi la totalidad de las arcillas de la zona, éstas están compuestas por montmorillonita, illita alterada y smectita.

El conjunto total de muestras comprende cinco tégulas y diez ladrillos, procedentes de la zona situada en los alrededores de los caminos de la Farfa-

1. Dpto. de Química Analítica, c/. García González, s/n, 41012 Sevilla.

2. Dpto. de Construcciones Arquitectónicas I, Avda. Reina Mercedes, s/n, 41012 Sevilla.

na, San José y Granada, las cuales no se encuentran en buen estado de conservación, en general presentan grandes dimensiones, predominando en las piezas el color amarillo sobre el rojizo.

Con objeto de realizar un estudio comparativo de las muestras y para dotar de mayor significación al tratamiento de datos, se hace necesario disponer de un mayor número de resultados. Para ello se han analizado dos grupos de quince piezas procedentes de las localidades cercanas a Osuna, de Puebla de Cazalla y Arahál, posiblemente el núcleo principal de producción ladrillera en la provincia de Sevilla; las muestras analizadas han sido fabricadas en tejares que en la actualidad elaboran ladrillos mediante métodos tradicionales, tanto de preparación de muestras y moldeo, como de secado y cocción.

Este trabajo se enmarca dentro de uno mucho más amplio en el que se han estudiado piezas cerámicas procedentes de los yacimientos de Itálica, Urso, Astigi, Munigua, Arva y Carmo, así como de piezas modernas elaboradas mediante procedimientos tradicionales en localidades cercanas a dichos yacimientos, La Pañoleta, Mairena del Alcor, Écija, Puebla de Cazalla y Arahál.

METODOLOGÍA SEGUIDA

La metodología seguida en la caracterización de las muestras ha tenido como objetivo la determinación de las propiedades físicas, composición química y mineralogía y el estudio del comportamiento frente a la temperatura.

El estudio de propiedades físicas se ha basado en la determinación de la succión y absorción de agua a presión atmosférica, realizándose dichos ensayos siguiendo las normas UNE 67-031 y 67-027 para ladrillos cerámicos.

En el estudio de la composición química se ha cuantificado el contenido en cationes mayoritarios (Si, Al, Fe, Ca, Mg, Mn, Ti, Na y K), así como de sulfatos. El análisis de cationes ha sido realizado mediante espectroscopia de plasma (ICP), en espectrofotómetro Fisons Instrument 3410-1461. Los sulfatos se han determinado por turbidimetría en espectrofotómetro ultravioleta visible Philips PU 8720. Los datos extraídos del análisis químico han sido valorados mediante tratamiento estadístico por análisis factorial.

El análisis mineralógico se realizó por difracción de rayos X, mediante método de polvos con muestra total, en difractómetro Philips PW 1130/90 empleando la radiación $K\alpha$ del cobre, con filtro de níquel.

Por último, indicar que el estudio térmico se desarrolló mediante el análisis térmico diferencial y termogravimétrico con equipo térmico de alta temperatura Setaram 92-16.18, utilizando alúmina calcinada como patrón de referencia, hasta una temperatura máxima de 1.000°C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las piezas presentan un buen moldeo, lo que contribuye a que los valores obtenidos para el ensayo de succión sean bastante bajos, estando éstos di-

rectamente relacionados, con un buen grado de correlación, con los de absorción, los cuales tienen una mayor dispersión. Con objeto de reducir el número de datos se presentan los valores máximos y mínimos, así como los valores medios y desviación estándar. Es importante indicar que los valores de succión se encuentran por debajo del máximo permitido por la norma UNE, 0,045 g/cm², mientras que en los porcentajes de absorción hay cinco valores superiores a 18% limitado por la normativa.

Ensayo de succión (g/cm²):

máximo:	0,11	mínimo:	0,22
media:	0,06	desv.std.:	0,028

Ensayo de absorción:

máximo:	27,2	mínimo:	8,3
media:	15,7	desv.std.:	5,3

Los resultados del análisis químico arrojan valores ciertamente homogéneos para la mayoría de los parámetros, mientras que los contenidos en silicio, calcio y pérdida al fuego presentan una mayor dispersión; con objeto de reducir la extensión no se incluye la tabla completa de resultados, los cuales quedan a disposición de todo aquel que esté interesado. En conjunto, tan sólo la muestra designada como O14 difiere del resto. Resulta interesante señalar los valores especialmente elevados de sodio y potasio, con unos valores máximos de 9,74% y 7,64% respectivamente, del mismo modo resultan significativamente bajos los contenidos en hierro, con un máximo de 5,66%.

Los resultados obtenidos para las muestras de Puebla de Cazalla y Arahál se caracterizan por ser muy homogéneos, con pequeños matices en los contenidos de potasio, algo superiores para las muestras de Arahál. Por lo demás, únicamente indicar lo elevado de los porcentajes de calcio y de los sesquióxidos metálicos.

La composición mineralógica presenta como principal curiosidad la elevada homogeneidad de los resultados. Nuevamente destaca la muestra O14, que difiere del resto de manera significativa. La mayoría de las muestras han desarrollado contenidos semejantes de silicatos de alta temperatura, gehlenita y diópsido, y en algunas muestras se ha producido también la formación de kilchoanita y hematites. En tres de las muestras, con mayores contenidos en sulfatos, se han detectado contenidos en yeso y anhidrita.

Por último, indicar que las curvas obtenidas a partir del ATD y TG no presentan ningún dato especialmente reseñable, salvo el desplazamiento que se aprecia para el pico de descomposición de la calcita, que llega a los 800°C, lo que se justifica por el tamaño del grano del material analizado. Los efectos exotérmicos de alta temperatura se detectan a partir de los 900-950°C.

Con respecto al análisis factorial hay que señalar que con el fin de que los factores alcancen un alto grado de significación y expliquen porcentajes de varianza elevados, tanto por separado como en conjunto, se ha seleccionado una serie de parámetros que, en función de los factores de carga rotados, se han agrupado en tres factores, que tienen una significación suficientemente im-

portante, considerando para su elección un factor de carga por encima del 80% (Tabla 1). La selección de estos parámetros se ha llevado a cabo mediante la exclusión de aquellos que en el análisis factorial global tenían unos factores de carga más bajos.

Los factores que han resultado de esta operación han sido los siguientes:

— El factor 1 queda compuesto por silicio y calcio, ambos están relacionados entre sí, siendo los componentes que intervienen en las principales reacciones que se producen durante la cocción, dando lugar a silicatos cálcicos.

— El factor 2 agrupa sodio y potasio que, como se indicó anteriormente, son componentes que se presentan juntos formando parte de los feldespatos.

— El factor 3 se compone únicamente de hierro que, como también se describió, tiene su importancia como óxido que se modifica durante la cocción, provocando alteraciones cromáticas.

Tabla 1

FACTOR	VARIANZA EXPLICADA
F1	35,0 %
F2	30,2 %
F3	20,3 %
TOTAL	85,5 %

A continuación, se exponen los mapas de posición de puntos en los que, con objeto de simplificar el análisis, se ha representado el factor 1 frente a los otros dos, en ellos se observa el grado de relación que, en función del análisis factorial, tienen las muestras y grupos de muestras entre sí.

De forma clara, el agrupamiento de las muestras actuales es muy superior al observado para las muestras de época romana; este resultado era previsible, teniendo las muestras antiguas un comportamiento muy desigual con respecto a los distintos factores.

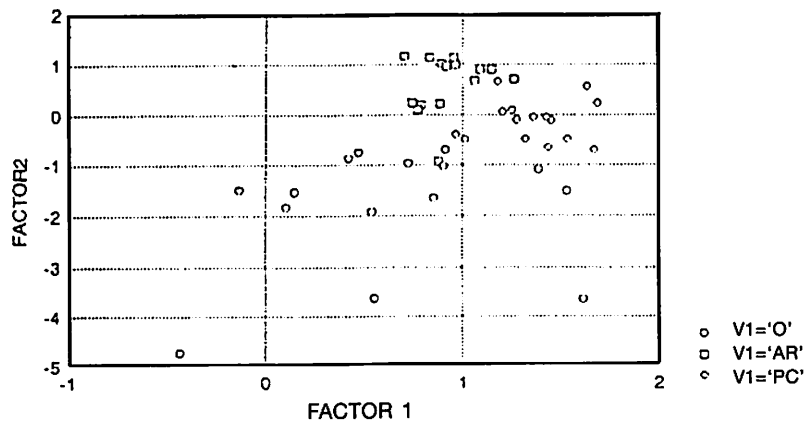
— Los diagramas de puntos de este grupo muestran una gran dispersión para las muestras de Osuna, mientras que las piezas de Puebla de Cazalla y Arahal aparecen bien agrupadas y próximas entre sí.

El mapa F1/F3 manifiesta una clara distinción entre grupos, de manera especial entre las piezas modernas y antiguas.

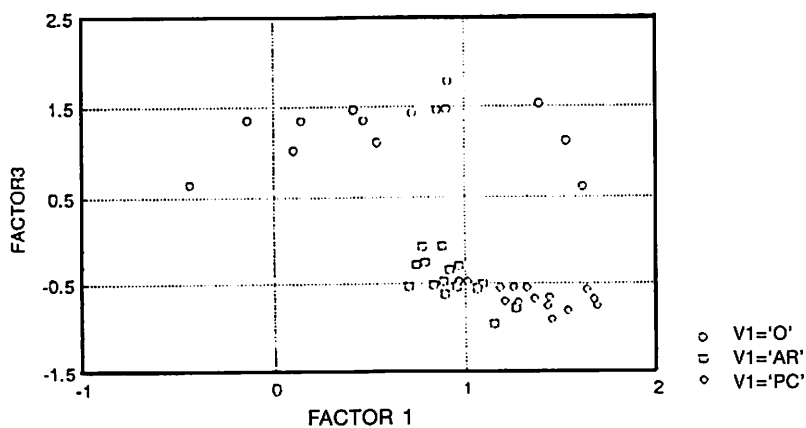
— La separación producida por el factor 2 para las piezas de Osuna es proporcionalmente mayor a las descritas para el resto de piezas.

GRÁFICOS MAPAS DE SCORES

MAPA DE SCORES F1/F2 ZONA OSUNA/ARAHAL/PUEBLA DE CAZALLA



MAPA DE SCORES F1/F3 ZONA OSUNA/ARAHAL/PUEBLA DE CAZALLA



CONCLUSIONES

1. Las piezas de época romana presentan una dispersión sensiblemente superior a las piezas modernas de una misma procedencia.
2. Las temperaturas de cocción se pueden establecer por encima de los 850°C, considerándose la calcita presente como producto de recarbonatación.

CARACTERIZACIÓN DE CERÁMICAS Y MATERIALES CONSTRUCTIVOS DE LOS HORNOS DE PLAZA DE LASSO (CARMONA, SEVILLA)

por

A. POLVORINOS DEL RÍO¹ y A. GÓMEZ MORÓN¹

RESUMEN

La intervención arqueológica realizada en el Hotel «Plaza de Lasso» (Carmona) ha aportado restos de seis hornos, de los que se estudian fragmentos de materiales cerámicos y constructivos. Su caracterización se ha realizado atendiendo a su mineralogía, composición química y morfometría, empleando tratamientos estadísticos para la interpretación de los datos geoquímicos.

En las muestras cerámicas es de destacar su elevada homogeneidad composicional, textural y de condiciones de elaboración. Se trata, por lo tanto, de cerámicas con tecnología tanto de elaboración de la pasta cerámica como de cocción, muy similares.

En cuanto a los materiales constructivos, difieren en su composición química de los fragmentos cerámicos y presentan mayor variabilidad mineralógica dependiendo de las temperaturas de cocción alcanzadas según su localización en el horno.

INTRODUCCIÓN

A menudo muchas cuestiones arqueológicas no pueden recibir respuesta atendiendo solamente a aspectos tipológicos, y se debe recurrir a la experimentación físico-química para conseguir mayor información sobre problemas arqueológicos tales como el conocimiento de rutas de comercio entre culturas, así como la evolución de las tecnologías de producción cerámica.

En áreas de gran interés arqueológico, como es la de Carmona, el estudio de las producciones de talleres de ánforas aportará puntos de referencia fiables para el conocimiento de las posibles líneas de comercio que nos permitan atri-

¹ Dpto. de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Sevilla.

buir de manera inequívoca fragmentos hallados en otras excavaciones a las producciones de estos talleres.

En este trabajo se estudian ocho fragmentos cerámicos y nueve materiales constructivos seleccionados en seis hornos descubiertos a raíz de la intervención arqueológica de urgencia realizada en el Hotel «Plaza de Lasso» (Carmena, Sevilla).

DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LAS MUESTRAS

Se han seleccionado de cada uno de los hornos muestras cerámicas y materiales de construcción que se han identificado con una primera letra H seguida de un número correspondiente al horno al que pertenece y un número de inventario.

A continuación se indica la localización y las características macroscópicas de las muestras (Tabla 1).

Tabla 1

HORNO	MUESTRAS	LOCALIZACIÓN	DESCRIPCIÓN
Horno 1	H1-1	Interior furnium	Cerámica textura fina y muy compacta. Fragmento de asa de sección transversal con distintas coloraciones y engobe.
	H1-2	Interior furnium	Material constructivo de aspecto masivo.
Horno 2	H2-2	Inferior praefurnium	Cerámica parte interna rojiza y externa marrón. Con engobe.
	H2-3	Inferior praefurnium	Cerámica (Fallo alfar). Elevada porosidad.
Horno 3	H3-1	Suelo	Material constructivo compacto.
	H3-2	Machón central	Material constructivo masivo, fácilmente deleznable y de color amarillento.
	H3-3	Muestra de horno	Material constructivo de aspecto masivo amarillento, poroso y fácilmente deleznable.
	H3-4	Praefurnium	Material constructivo de aspecto masivo marrón.
	H3-5	Praefurnium	Cerámica decorada atípico ibérica, color rojizo y textura fina.
Horno 4	H4-1	Furnium	Cerámica gris con textura fina y compacta.
	H4-2	Furnium	Cerámica parda con textura fina y compacta.
	H4-3	Machón central	Material constructivo de aspecto compacto.
Horno 5	H5-1	Machón central	Material constructivo de aspecto masivo.
	H5-2	Muestra horno	Material cerámico de aspecto compacto.
Horno 6	H6-1	Desde Parrilla hasta el suelo	Cerámica de color marrón y textura fina.
	H6-2	Muestra horno	Material constructivo de aspecto compacto.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Tras el análisis visual, limpieza y toma de submuestras representativas, se ha procedido a su caracterización mineralógica por difracción de rayos X, mediante el método del polvo, utilizando un difractómetro Philips modelo PW1130/90 dotado con rendija automática, filtro de Ni, radiación $K\alpha^{Cu}$ y unas condiciones de trabajo de 40 kV y 20 mA. La muestra ha sido reducida a polvo empleando un mortero de ágata y pasándolo posteriormente por un tamiz de 500 μm .

El análisis químico se realizó por absorción atómica (Si, Al, Mg, Ca, Fe y Ti) y emisión atómica (Na, K) con un espectrómetro Perkin Elmer modelo 460, con el que se midieron los elementos mayoritarios partiendo para ello de 0.25 g. de muestra reducida previamente a polvo y disuelta por ataque triácido (Potts, 1992). La pérdida por calcinación se determinó calentando las muestras a 1.000 °C por diferencia de peso con la muestra original a 110 °C.

El análisis morfométrico se ha realizado a partir de las imágenes digitales de cada lámina delgada de los materiales cerámicos captadas con un digitalizador de diapositivas provisto de un adaptador especialmente diseñado a este fin (Polvorinos y Gómez, 1997). Utilizando técnicas de procesamiento de imagen (González, 1987) se han obtenido imágenes binarias de poros y desgrasante para la determinación de los parámetros morfométricos (Fabbri, 1984 y Russ, 1993).

Finalmente, los datos obtenidos se han sometido a técnicas estadísticas para la interpretación.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

Análisis mineralógico

Los materiales cerámicos presentan una cierta homogeneidad mineralógica (Tabla 2) con cuarzo, calcita y plagioclasas, si se excluyen las muestras H3-5 y H4-1 en las que no se detectan plagioclasas ni calcita, respectivamente. La mayor variabilidad mineralógica viene dada por la presencia de diopsido y asociado a las condiciones de cocción la aparición de gehlenita. En este sentido se establece un rango de temperaturas de cocción entre 650 y 750 °C que corresponden al de descomposición incipiente de calcita y de formación de gehlenita, destacándose la menor temperatura de cocción de la muestra H1-1 en que no se detecta esta fase.

La variabilidad mineralógica de los materiales constructivos se debe tanto a su naturaleza como a su situación en los hornos. La presencia de gehlenita se ha detectado en fragmentos masivos probablemente utilizados en el recubrimiento interior, mientras que los compactos H2-1, H3-1, H4-3, H5-2 y H6-2 corresponden a fragmentos de roca tipo calcarenita empleados en la construcción de los hornos y que no han llegado a afectar su mineralogía. Dentro de los materiales constructivos es de reseñar la presencia de ciertas fases minera-

les peculiares, así se ha encontrado uvarovita en la muestra H1-2 y rutilo en H2-1. En la H3-3 se ha identificado vaterita, una variedad microcristalina esferulítica de calcita y en la H3-4 aragonito.

Tabla 2

	MUESTRA	Cuarzo	Calcita	Plagioclasas	Gehlenita	Diopsido
Cerámicas	H1-1	+++++	++++	++++	—	+
	H2-2	+++++	++	++++	+++	+++
	H2-3	+++++	++++	++++	++	++++
	H3-5	++++	++++	—	+	—
	H4-1	+++++	—	++++	—	+++
	H4-2	+++++	++++	+++	+++	—
	H5-1	+++++	+++	+++	+++	+
Material Constructivo	H6-1	+++++	+++	+++	++	+
	H1-2	++++	++++	—	++++	—
	H2-1	+++++	++++	—	—	—
	H3-1	+++++	+++++	—	—	—
	H3-2	++++	++++	—	++++	—
	H3-3	++++	++++	—	++++	—
	H3-4	++++	++++	—	++++	—
	H4-3	++++	+++++	—	—	—
	H5-2	++++	+++++	—	—	—
	H6-2	++++	+++++	—	—	—

Nota: +++++ Muy abundante; ++++ Abundante; +++ Medio; ++ Escaso; + Indicios;
— No detectado

Análisis químico

Los datos de composición química de los materiales estudiados (Tabla 3) se han analizado por métodos estadísticos. El análisis factorial conjunto de todos los datos explica el 89% de la varianza en base a los dos primeros factores (Tabla 4). El factor 1, con un 58% de la varianza, indica la contraposición entre las variables CaO y P.C. frente a Al_2O_3 , K_2O , MgO , Fe_2O_3 y TiO_2 . Este factor explica el enriquecimiento en arcillas de los materiales empleados en la fabricación de las cerámicas frente a los utilizados como materiales constructivos. En estos últimos es mayor la abundancia de calcita y de sus fases de transformación térmica. En el factor 2, con un 30% de la varianza, se observa la contraposición de las variables CaO y P.C. frente a Al_2O_3 y Na_2O , lo que indicaría una variación inversa entre los contenidos en calcita y plagioclasas sódicas.

La representación gráfica de estos dos factores (Figura 1) discrimina los materiales cerámicos de los constructivos, observándose una elevada homogeneidad química en las muestras cerámicas frente a una mayor dispersión en los materiales constructivos. Es de destacar que entre las cerámicas, la muestra

H4-1 se distingue del resto por su composición más elevada en Na_2O y K_2O correspondiente a plagioclasas y feldespatos.

Los materiales constructivos asimismo indican la separación composicional de las arcillas utilizadas en las muestras H1-2, H3-2, H3-3 y H3-4, frente a los materiales compactos restantes en los que la descomposición de calcita no ha tenido lugar.

Tabla 3

MUESTRA	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO_2	P.C.
H1-1	11.30	5.23	14.47	2.21	0.42	2.35	0.34	0.027	12.47
H1-2	8.00	3.29	19.46	0.97	0.775	1.71	0.31	0.033	11.99
H2-1	5.65	2.31	25.86	0.73	0.152	1.73	0.07	0.034	21.55
H2-2	12.96	6.25	16.58	2.09	0.61	2.05	0.40	0.030	5.503
H2-4	12.96	6.36	17.99	1.73	0.46	1.80	0.41	0.036	6.852
H3-1	3.59	1.12	24.89	0.57	0.16	1.05	0.11	0.029	27.67
H3-2	10.22	4.38	23.03	1.16	0.76	1.68	0.13	0.043	10.31
H3-3	5.31	1.41	21.33	0.64	0.43	0.35	0.18	0.042	20.10
H3-4	8.19	2.48	10.34	0.59	0.75	1.34	0.03	0.026	17.56
H4-1	12.91	5.91	14.89	1.51	0.89	2.39	0.47	0.041	2.56
H4-3	5.23	2.46	27.45	0.85	0.16	1.39	0.19	0.046	24.37
H5-1	11.76	6.61	15.58	1.77	0.44	2.10	0.44	0.037	7.23
H5-2	5.99	3.82	28.24	0.67	0.01	1.07	0.15	0.020	25.67
H6-2	5.56	2.18	23.57	0.64	0.03	1.59	0.17	0.037	19.86

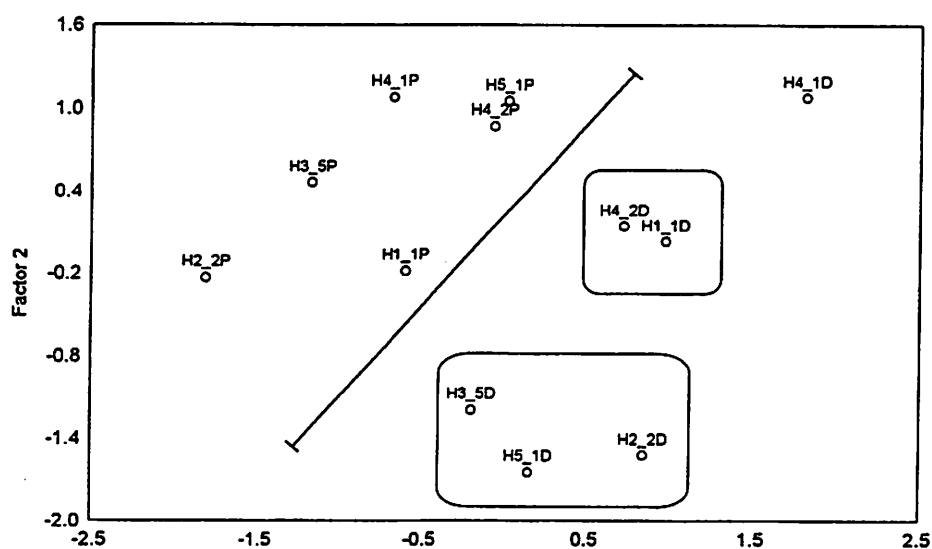


Figura 1

Tabla 4

CARGAS FACTORIALES		
	Factor 1	Factor 2
Fe ₂ O ₃	0.912	0.289
CaO	-0.635	-0.658
MgO	0.918	0.253
Na ₂ O	0.164	0.972
K ₂ O	0.818	0.239
Al ₂ O ₃	0.808	0.546
TiO ₂	0.857	0.279
P.C.	-0.710	-0.669
Varianza Explicada	4.669	2.408
% Varianza	58.36%	30.10%

Análisis morfométrico

El estudio petrográfico preliminar de las muestras cerámicas revela la presencia de fósiles bien conservados rellenos de calcita esparítica y es de destacar el carácter subredondeado del desgrasante y la alta compacidad de las muestras.

Empleando un digitalizador de diapositivas y un adaptador de láminas delgadas, se han captado cuatro imágenes de cada una de las cerámicas con luz polarizada y polarizadores cruzados en distintas orientaciones.

Del procesamiento digital del conjunto de imágenes de cada lámina delgada se han obtenido las imágenes binarias del desgrasante y poros, en las que se ha realizado la medida de los parámetros de forma y tamaño, cuyos estadísticos de tendencia central se indican en las Tablas 5 y 6.

Tabla 5

ESTIMACIÓN MEDIA DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE POROS									
MUESTRA	% ÁREA	ÁREA	PERÍM.	EJE MEN.	EJE MAY.	ELONG.	REDOND.	COMPAC.	D. FERET
H1-1P	3.48	0.0058	0.258	0.050	0.085	1.865	1.016	1.037	0.076
H2-2P	1.81	0.0060	0.273	0.046	0.090	2.158	0.891	1.046	0.077
H3-5P	1.49	0.0044	0.233	0.042	0.076	2.099	1.056	1.019	0.068
H4-1P	8.58	0.0062	0.251	0.057	0.093	1.770	0.958	1.018	0.082
H4-2P	3.92	0.0098	0.310	0.058	0.104	1.723	1.022	1.022	0.086
H5-1P	10.94	0.0139	0.353	0.072	0.111	1.663	0.952	1.029	0.098

Nota: Unidades en mm. PERÍM.: Perímetro; EJE MEN.: Eje menor; EJE MAY.: Eje mayor; ELONG.: Elongación; REDON.: Redondez; COMPAC.: Compacidad; D. FERET: Diámetro Feret.

Tabla 6

ESTIMACIÓN MEDIA DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DEL DESGRASANTE									
MUESTRA	% ÁREA	ÁREA	PERÍM.	EJE MEN.	EJE MAY.	ELONG.	REDOND.	COMPAC.	D. FERET
H1-1P	2.13	0.0064	0.258	0.061	0.087	1.458	1.107	1.032	0.085
H2-2P	5.71	0.0076	0.276	0.064	0.090	1.510	1.073	1.064	0.084
H3-5P	7.29	0.0052	0.247	0.052	0.077	1.706	1.024	1.054	0.074
H4-1P	6.58	0.0112	0.329	0.082	0.113	1.385	1.130	1.025	0.106
H4-2P	9.98	0.0085	0.294	0.066	0.099	1.581	1.070	1.037	0.091
H5-1P	5.50	0.0058	0.253	0.054	0.079	1.637	1.041	1.063	0.076

Nota: Unidades en mm. PERÍM.: Perímetro; EJE MEN.: Eje menor; EJE MAY.: Eje mayor; ELONG.: Elongación; REDOND.: Redondez; COMPAC.: Compacidad; D. FERET: Diámetro Feret.

La representación gráfica (Fig. 2) de los dos primeros factores (Tabla 7) de los parámetros de forma de poros y desgrasante evidencia la mayor elongación y menor compacidad de los poros frente al desgrasante. La forma del desgrasante permite distinguir de nuevo el fragmento H4-1 cuya peculiaridad ya se ha evidenciado por su mineralogía y composición química; el desgrasante de las muestras H1-1 y H4-2 indica su separación del resto probablemente debido a la influencia que las condiciones de cocción han tenido en la conservación de las estructuras fósiles.

Tabla 7

CARGAS FACTORIALES		
	Factor 1	Factor 2
Elongación	-0.965	0.049
Redondez	0.803	-0.109
D. Feret	0.714	0.512
Compacidad	0.088	-0.945
Var. Explicada	2.097	1.170
% Varianza	52.40%	29.20%

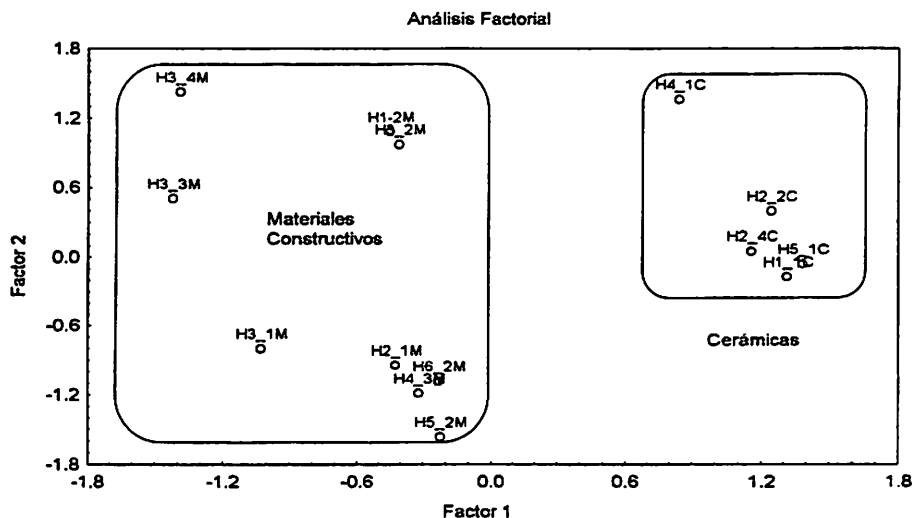


Figura 2.

CONCLUSIONES

Del análisis de las muestras cerámicas estudiadas es de destacar su homogeneidad composicional, textural y de condiciones de elaboración. La selección de materiales empleados en la elaboración de todos los fragmentos cerámicos es evidente por la distribución del desgrasante en tamaños finos inferiores a 0.20 mm; la mineralogía de estos fragmentos es bastante homogénea y constituida por cuarzo, calcita y plagioclasas con presencia más o menos detectable de piroxeno, con abundantes restos fósiles bien conservados. Respecto a las condiciones de cocción, se sitúan en el rango de temperaturas de descomposición incipiente de calcita y de formación de fases cálcicas tipo gehlenita, en todo caso entre 650 y 750 °C.

La composición química presenta una escasa variabilidad, lo que indica idéntica procedencia de los materiales empleados en su elaboración, resultado en consonancia con su mineralogía.

También desde el punto de vista morfométrico son materiales homogéneos. Los materiales empleados en su elaboración incluyen desgrasante muy fino y de elevada redondez, que no representa más del 10% de la pasta cerámica. La porosidad media es muy baja (excepto en las muestras H4-1 y H5-1) asociada fundamentalmente a huecos de fósiles, y por tanto de tipo cerrado.

En resumen, se trata de un conjunto de fragmentos elaborados con una tecnología tanto de elaboración de la pasta cerámica como de las temperaturas alcanzadas durante su cocción muy similares.

Respecto de los materiales constructivos, se han encontrado restos pétreos tipo calcarenita, así como fragmentos de arcillas cocidas, probablemente empleadas en recubrir los hornos. La elaboración menos cuidadosa de estos materiales genera cierta variabilidad mineralógica (presencia de uvarovita, aragonito o vaterita), pero son básicamente semejantes a los empleados en la elaboración cerámica y han estado sometidos a temperaturas similares a las indicadas para las cerámicas.

Es de resaltar que la ausencia de plagioclasas en el desgrasante de las arcillas empleadas en la construcción de hornos, contrasta con su presencia en todos los segmentos cerámicos en cantidad apreciable (excepto la muestra H3-5).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a D.^a María Belén del Dpto. de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla por la selección de las muestras y el apoyo recibido en las distintas fases de realización del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

FABBRI, A. G.

Image processing of geological data. Van Nostrand-Reinhold. U. K. 224 p.

GONZÁLEZ, R. C. AND WOODS, R. E.

Digital image processing. Addison-Wesley Pub. Co., Reading, Massachusetts, 716 p.

POLVORINOS DEL RÍO, A. y GÓMEZ MORÓN, A.

Adaptación de un digitalizador de películas fotográficas para el análisis morfo-métrico de cerámicas arqueológicas. II Congreso Nacional de Arqueometría, Zaragoza, 1997.

POTTS, P. J.

A handbook of silicate rock analysis. Blackie, London, 1992.

RUSS, J. C.

The image processing handbook. Second Edition. CRC Press Inc, 1995. 647 p.

CHARACTERIZATION OF THE CERAMICS OBTAINED FROM ANTIC AMPHORA WORKSHOPS IN SINOP REGION

por

ŞAHİNDE DEMİRCİ¹, ALİ AKIN AKYOL¹ y ASUMAN TÜRKMEÑOĞLU²

ABSTRACT

Archaeological surveys done in 1993 throughout the Black Sea coast revealed more than 20,000 bricks and amphorae which showed that Sinop region was one of the important ceramic production and export centers of Black Sea region in ancient times. Excavation has been carried out since 1994 in the Demirci workshop. In this study, eighteen sherd samples were obtained from seven amphora workshops of late Hellenistic and Roman periods and they were analyzed.

In the analysis of the samples, various techniques have been used including loss on ignition, X-ray powder diffraction (XRD), thin-section analyses, and scanning electron microscopy coupled with energy dispersive analyzer (SEM-EDX).

The results obtained up to now show that most of the samples have similar manufacturing technology with respect to composition and firing temperature. Very low organic content justified that no organic matter, such as straw, was added in the amphorae production. Most of them have pyroxenes and micas besides quartz, calcite, feldspars and iron oxides in addition to rock fragments. Firing temperature was most likely more than 700 °C.

INTRODUCTION

Archaeological surveys revealed more than 20,000 pieces of amphorae, bricks and pottery throughout the Black Sea coast in 1993. Most of these pieces had stamps on which showed that they were manufactured in Sinop region (Figure 1). So a detailed survey in this region was done by a group of Turkish

1. Department of Chemistry, Middle East Technical University, 06531, Ankara, Turkey.

2. Department of Geology, Middle East Technical University, 06531, Ankara, Turkey.

and French scientists. Eventually, alongside the south of Sinop Bay up to Çakıroğlu Point (about 20 km) seven different antic workshops were identified (Kassap-Tezgör, 1993, 1995). These workshops were found to have the same position i.e. all were located at the seaside and riverside and they are of late Hellenistic and Roman period. Excavation in Demirci workshop was started by Kassap-Tezgör in 1994. In fact, Sinop is one of the oldest cities in Anatolia located on the north of Turkey along the Black Sea coast. The name, Sinope, is given by the first settlers from Miletos in the colonization period of about 7th century BC. It was used as a trade center in the ancient times. Sinop is also an important city because of famous politicians and philosophers like Diogenes who were born and lived there.

In Anatolia there are various other amphora workshops in ancient trade centers such as Pergamum (Waksman *et al.*, 1994), Knidos, Miletos, Symirna, Halikarnassos and Sagalassos which have been already searched. However, amphora workshops in the Black Sea coast have not been studied yet. The aim of this study is the characterization of different types of sherds: amphorae, plain-ware pottery and bricks with respect to body structure, mineral composition and firing temperature. In this way it would be possible to generalize the basic characters of the ceramics in Sinop region.

MATERIALS AND METHODS

Investigations have been started with 18 sherd samples. Primarily, they were classified into six groups according to their shape (Figure 2), color (or having glaze), and visible forming marks if present. In the sherds studied only one (sample 10) has a red glaze.

In the analysis various methods have been used such as weight loss on ignition, XRD, thin-section, and SEM-EDX analyses.

Weight loss on ignition analysis is a kind of gravimetric analysis in which the sample is heated at 500 °C and 950 °C to get organic matter and carbonate content (Walter, 1974). XRD analysis was carried out with powdered samples after drying at 80 °C (Brindley *et al.*, 1980). XRD patterns of random mounts were obtained by the PHILIPS type PW 1353/20 X-ray Diffractometer using Nickel filtered Co K α radiation. Thin-section analysis was performed by using NIKON Research Model Microscope type 104 with the objectives of 2.5x and 10x. SEM analysis was carried out by using JEOL JSM-6400 Scanning Electron Microscope coupled with energy dispersive analyzer NORAN Instrument model Series II.

RESULTS AND DISCUSSION

In eighteen sherds studied the percentage of weight loss on ignition at 500 °C was found to be in the range 0.52 to 3.97 (Table 1). This means most of the samples have rather low organic matter in other words no organic mate-

rials, such as straw, were added to the ceramic body (Demirci *et al.*, 1995). The percentage of weight loss on ignition at 950 °C was found to have great variation; some have very low (0.05, 0.08%) and some have rather high values (7.61, 10.54%). This shows that calcite content of the body is significant for a few samples. For the samples having large amount of calcite (sample 16, 17) we may say that this is due to the contamination with calcium carbonate formed by diffusion from the soluble salts in the soil around. In fact, lime or calcite may also occur naturally in clays (Rice, 1987).

The investigation of XRD patterns showed that clay minerals cannot be identified, this might be because of the firing temperature which should be greater than 700 °C at which clay minerals become amorphous (Kerr, 1970). Common minerals identified are pyroxenes, micas, quartz, feldspars, calcite and iron oxides. Pyroxenes seem to be characteristic in the clays or soils present in Sinop region (Kassap-Tezgör, 1993).

The results of thin-section analysis also support XRD results. Pyroxene minerals and iron oxide particles can be easily differentiated (Figure 3 a). Based on thin-section analysis, using textural and mineralogical properties, sherds were separated into four petrographic groups. They are quartz-rich (sample 6), silty clay (sample 3, 7, 9), clay-rich (sample 2, 5, 10, 11, 16) and fine grained (sample 1, 4, 8, 12, 13, 14, 15, 17, 18) groups. In some samples (sample 13 and 14) fossils of foraminifers were also observed.

Six samples (sample 2, 3, 5, 10, 15, 16) each from different physically separated groups were observed by SEM and elemental distribution of the samples were obtained using energy dispersive analyzer. Samples have various degrees of vitrification except sample 5 in which various sized particles were observed in the matrix (Figure 3 b). The glazed one has very small particles (about 10 µm), beside, glaze also has smaller glassy particles. In sample 2, very characteristic spherical particles (about 4 µm in diameter) were observed (Figure 3 c). EDX analysis of this sample showed that there were Mn and P beside other elements observed in all other samples namely Na, Mg, Fe, Ca, Al and Si (Figure 4). Mn might be due to pyroxenes and P may come from an inclusion such as bone ash. Relative amount of element distribution is generally similar in all samples examined. The increasing order is as follows: Na, Mg (vice versa), Fe, Ca (vice versa), Al and Si.

CONCLUSIONS

In this study eighteen sherds coming from seven different amphorae workshops in Sinop region were examined using various techniques such as loss on ignition, XRD, thin-section and SEM-EDX analyses. The results showed that all sherds have similar manufacturing technology with respect to mineral composition and firing temperature. No organic matter addition like straw was identified in the production of the pottery. Most of them have pyroxene and micas besides quartz, calcite, feldspars and iron oxides in addition to rock fragments. Firing temperature was most likely more than 700 °C. Only

one has characteristic spherical particles (about 4 µm diameter) and has Mn and P besides common elements (Na, Mg, Fe, Ca, Al and Si) were observed in the texture.

In the further studies, elemental analysis using atomic absorption spectroscopy and some physical analysis (porosity, water absorption capacity and density) of the samples will be done in order to get detailed information.

REFERENCES

- BRINDLEY, G. W. and BROWN, G.
(1980) *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identifications*, Mineral Society, London.
- DEMIRCI, Ş. and AKYOL, A. A.
(1995) *16th International Symposium of Excavation, Research and Archaeometry*, Turkish Republic Ministry of Culture General Directorate of Monuments and Museums Series 48, p. 53-62.
- KASSAP-TEZGÖR, D.
(1993) *Report on Sinop Region Archaeological Survey*.
(1995) *16th International Symposium of Excavation, Research and Archaeometry*, Turkish Republic Ministry of Culture General Directorate of Monuments and Museums Series 47, p. 353-362.
- KERR, P. F.
(1977) *Optical Mineralogy*, McGraw-Hill Co. First Ed., New York.
- RICE, P. M.
(1987) *Pottery Analysis*, A Source Book, The University of Chicago Press Ltd., Chicago.
- WAKSMAN, S. Y.; ROSSINI, I. and HEITZ, C.
(1994) Byzantine Pergamon: Characterization of the Ceramics Production Center, *29th International Symposium on Archaeometry*, Ş. Demirci, A. M. Özer and G. D. Summers Eds, TÜBİTAK 1996, Ankara, p. 209-218.
- WALTER, E. D.
(1974) Determination of Carbonate and Organic Matter in Calcareous Sediments and Sedimentary Rocks by Loss on Ignition: Comparison with other Methods, *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 44, No 1, p. 242-248.

Characterization of the ceramics obtained from antic amphora workshops

Table 1. Results of Loss on Ignition, XRD, Thin-section and EDX Analyses.

Samples	%Wt (500°C)	%Wt (950°C)	Minerals* (X-ray, Thin-section)	Elements** (EDX)
1	0.60	0.14	Q, P, Fe, B, Pl, Op	
2	1.50	1.68	Q, P	Na, Mg, Mn, P, Fe, Ca, Al, Si
3	1.13	0.08	Q, C, P, F	Na, Mg, K, Fe, Ca, Al, Si
4	0.56	0.05	Q, P, F	
5	0.93	0.95	Q, C, P	Na, Mg, K, Fe, Al, Ca, Si
6	0.82	0.09	Q, P, Fe, B, Op, MR	
7	0.52	0.38	Q, P, Fe, F, B, Pl, M	
8	1.46	1.70	Q, P, Fe, B, Pl, M, MR	
9	1.95	2.30	Q, C, P, MR, M	
10	1.03	2.34	Q, C, P, MR	Na, Mg, Ca, Fe, K, Al, Si
11	3.81	0.29	Q, P, Fe, Op	
12	0.67	0.35	Q, C, P, F, B M, MR	
13	3.97	5.90	Q, C, B, Op, MR, VR, Fs	
14	2.95	5.94	Q, C, P, Fe, F, Fs	
15	2.29	5.41	Q, C, P, B, Op, MR	Mg, Ca, Fe, Al, Ca, Si
16	1.40	10.5	Q, C, P	Na, Fe, Ca, Al, Si
17	2.73	7.61	Q, C, P, F, B, MR, VR	
18	2.04	3.54	Q, C, P, F	

* B=Biotite, C=Calcite (micritic in thin-section), F=K-Feldspars, Fe=Iron oxide, Fs=Fossils (foraminifers), MR=Metamorphic Rock Fragments (Polycrystalline quartz), M=Muscovite, Op=Black Opaque Minerals, Py=Pyroxenes, Pl=Plagioclase, Q=Quartz, VR=Volcanic Rock Fragments.

**Elements are in increasing order.

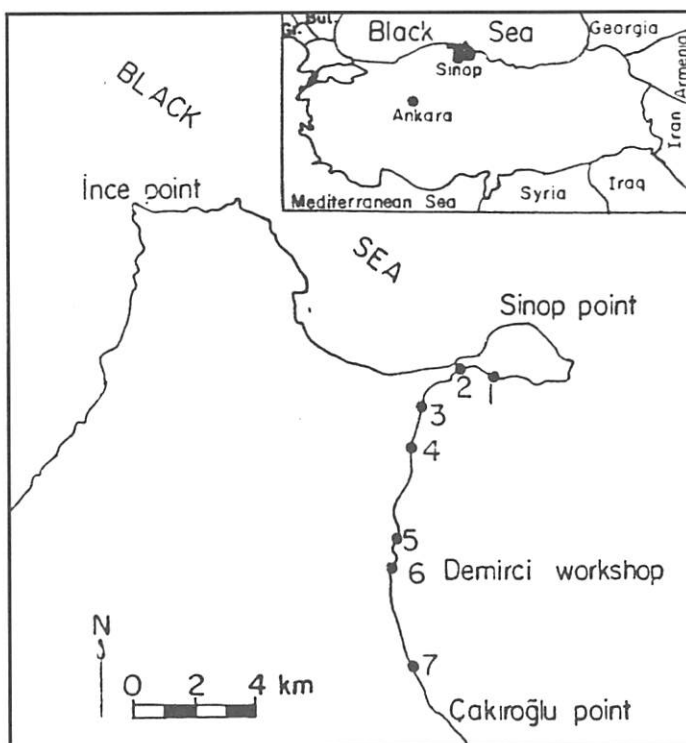


Figure 1. Map of Sinop Region



Figure 2. Sample 3, 4 and 18.

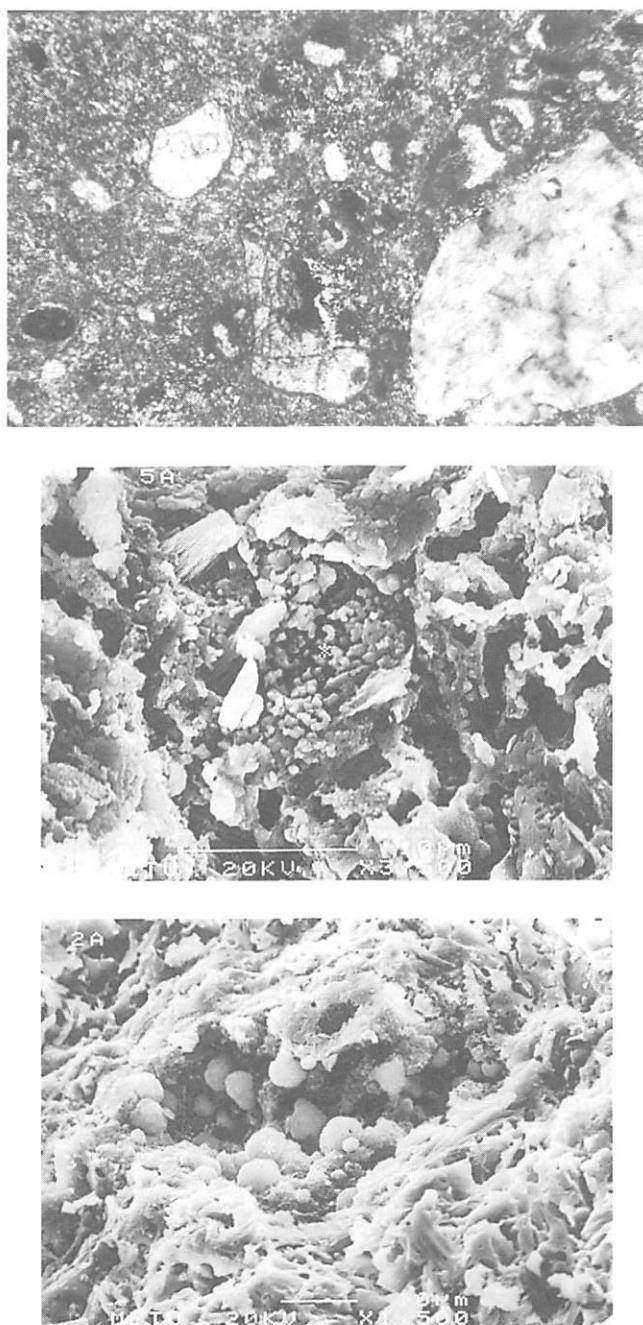


Figure 3. a) Petrographic microphoto of sample 14 (Pyroxenes, Feldspars); b) SEM micrograph of sample 5; c) SEM micrograph of sample 2.

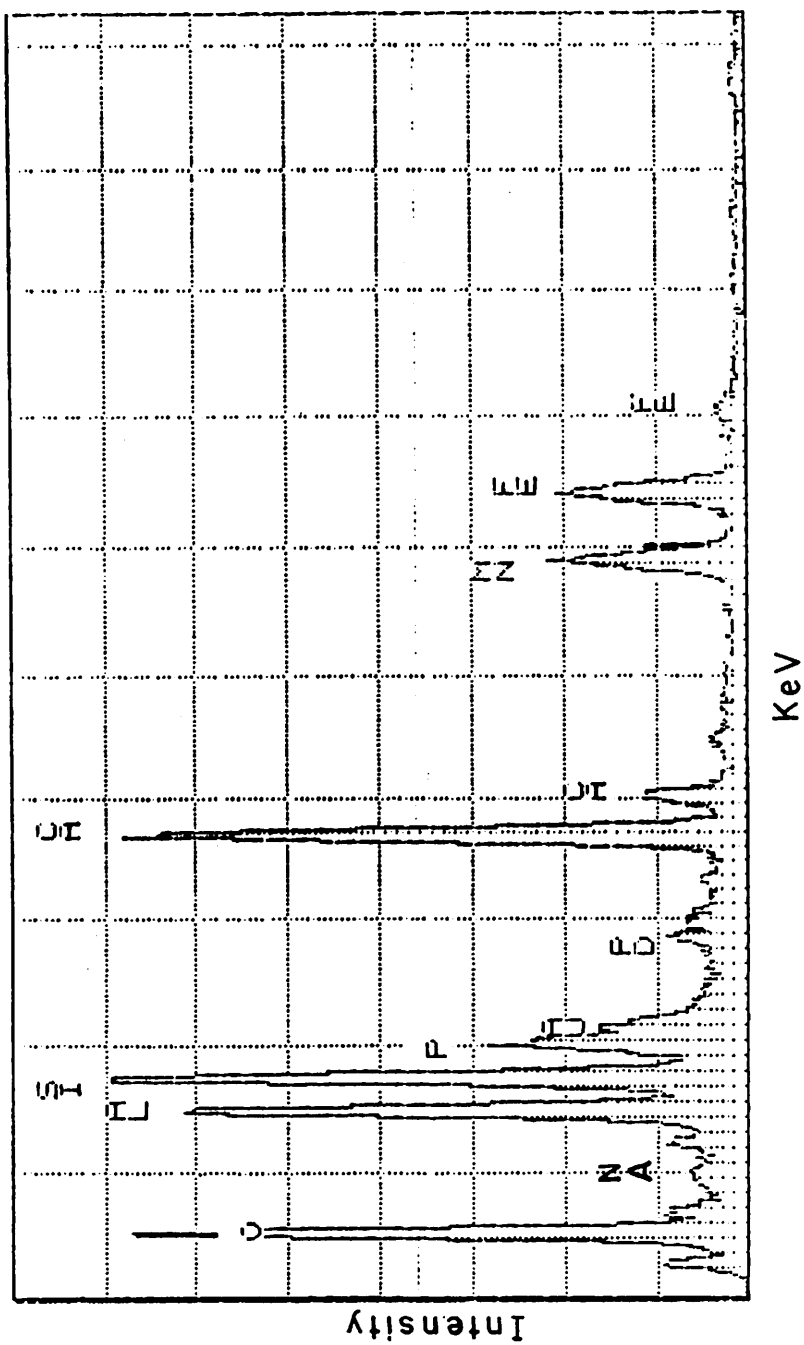


Figure 4. EDX analysis of sample 2.

ESTUDIO DE REVESTIMIENTOS CERÁMICOS EN EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE SEVILLA

por

A. M.^a HERRERA SAAVEDRA¹ y V. FLORES ALÉS²

RESUMEN

El presente trabajo pone de manifiesto los resultados obtenidos a partir de la catalogación de un depósito de más de 6.000 piezas de azulejería procedentes de diferentes edificios de la ciudad de Sevilla, que con el tiempo se han ido almacenando en las dependencias del Alcázar. Esta catalogación ha permitido la datación de las piezas asociando ésta a las técnicas de fabricación y decoración.

INTRODUCCIÓN

La cerámica es una de las primeras manifestaciones culturales del hombre desde los inicios de los asentamientos humanos. Las piezas de barro han formado parte del ajuar de las viviendas, en su mayoría estas piezas tienen una decoración incisa o pintada sin vidriar; la cerámica vidriada, originada en el Asia Menor, no será conocida por Europa hasta las invasiones musulmanas que la expandieron a través de la Península Ibérica.

La introducción de la cerámica vidriada por los árabes en la península es bastante tardía con respecto a la conquista. A pesar de la vigorosa islamización que se obra en España y de la sustancial acomodación de los invasores en las tierras del sur con un califato cordobés de absorbente personalidad, llama bastante la atención la escasez de obra vidriada, manteniéndose los productos musivarios bizantinos y la tardía presencia de algunas piezas de loza, brocales de pozo o cacharrería decorada con técnica de reflejo, sobre todo en Córdoba, Granada y Málaga.

1. Alcázar de Sevilla, Plaza del Triunfo n.º 1, 41001 Sevilla.

2. Dpto. de Construcciones Arquitectónicas II. Universidad de Sevilla, Avda. Reina Mercedes, s/n, 41012 Sevilla.

Va a ser con el imperio almohade (siglo XII), venido desde el norte de África, cuando la cerámica vidriada llegue a Al-Andalus y tenga a Sevilla como núcleo centralizador. Los revestimientos cerámicos en edificaciones tendrán que esperar hasta el siglo XIII en el caso del alicatado, y el azulejo en el siglo XIV.

A partir de estos momentos, la cerámica va a ocupar un papel fundamental en la ciudad de Sevilla como elemento decorativo en los paramentos de sus edificios.

CATALOGACIÓN REALIZADA

En el Alcázar sevillano se ha ido formando un depósito de azulejos, fruto de las distintas obras que se han realizado en el edificio real. A su vez, por su condición de propiedad municipal, algunas dependencias del palacio han sido utilizadas, durante algunos años, como almacén de elementos procedentes de distintos edificios sevillanos. El depósito de piezas cerámicas se ubica en la zona de los Baños de María de Padilla.

A través de este almacén podemos hacer un análisis de los revestimientos cerámicos, gracias a la labor de siglado, fichaje y catalogación de unas 6.000 piezas, realizado durante los años 1993-1994, y que abarca una amplia cronología desde fines del siglo XV a nuestros días.

Las piezas se han encuadrado dentro de las diferentes técnicas azulejeras y establecido sus medidas, funciones y modelos; se ha intentado establecer la posible autoría de las piezas más antiguas y realizado un estudio de las marcas de los bizcochos de las piezas más modernas, estableciendo a través de ellas una datación de las mismas.

SIGLOS XVI-XVII

El grupo de piezas más numeroso en este almacén pertenece a la técnica de arista, también denominada de cuenca, que sustituye en la historia de la azulejería en el siglo XVI a los de técnica de cuerda seca. El procedimiento de fabricación de esta técnica está basado en la presión de la pieza de barro, aún fresco, contra un molde de madera tallada para que el dibujo quede inmerso en la pieza. Las aristas formadas impiden que los esmaltes se mezclen.

En este grupo de piezas de técnica de cuenca, el mayor número corresponde a las que tienen una función decorativa en las techumbres internas de los edificios, son los llamados azulejos por tabla, muy utilizados durante el siglo XVI y primera mitad del siglo XVII.

De este mismo período hay azulejos para fondo, utilizados para los zócalos. Su número es inferior al grupo anterior, no sólo en número de piezas, sino también en variedad de modelos decorativos. Otras de las piezas catalogadas, dentro de la técnica de cuenca o arista e igual cronología, son las que tienen como función el enmarcado de los zócalos y que se denominan regletas.

Los temas decorativos se centran en el renacimiento, con modelos que se forman con una corona floral que rodea otro motivo vegetal (Inv. A.80). Éstos son los tipos más abundantes, existen también otras piezas que nos muestran figuras animales (Inv. A.91) o construcciones arquitectónicas (Inv. A. 94) y otros azulejos optan por modelos mixtos que mezclan la rueda renacentista floral con una decoración de lacería (Inv. A.79). En las piezas de fondo y en las regletas se encuentran modelos decorativos de tipo isabelino (Inv. A.117), junto a otros de tipo vegetal (Inv. A.116).

PIEZAS POSTERIORES AL SIGLO XVII

Siguiendo en la cronología, hay que esperar hasta el XIX para encontrar nuevas piezas azulejeras en técnica de arista, ya que ésta se había perdido y quedado en desuso a lo largo de los siglos XVII y XVIII. El número de piezas de esta técnica no es muy amplio en este almacén y repite los modelos decorativos del XVI.

Escasos son los modelos que se han catalogado dentro de la técnica de cuerda seca, heredera del alicatado y rápidamente sustituida por la técnica de arista, lo que explica las escasas piezas que en este almacén se han encontrado tanto del siglo XVI (Inv. C.52, C.54) como del siglo XIX. Los modelos decorativos siguen esquemas geométricos.

Otra técnica, que ya se encuentra en los inicios del siglo XVI, y dentro de la cual se halla una de las piezas de azulejo más antigua catalogada en el Alcázar sevillano (Inv. L.84), es el tipo denominado en Sevilla «pisano» y que consiste en pintar con varios colores sobre una base blanca. La pieza a la que nos referimos se ha identificado como perteneciente a un conjunto desaparecido en el siglo XIX del Real Alcázar y realizado por el ceramista italiano Francisco Niculoso «El Pisano», dedicado a la Anunciación y del que el historiador José Gestoso da noticias de algunos restos en los primeros años de nuestra centuria, en su obra *Historia de los barros vidriados sevillanos*. En la pieza hay que destacar el uso que del colorido hace el artista, con la introducción de los amarillos claros y oscuros y el perfilado de la lacería blanca.

El uso de estas piezas, generalmente, se sitúa en paramentos verticales, aunque quedan algunos restos utilizados en los pavimentos (Inv. L.3).

Del siglo XVIII, en este depósito del Alcázar hay algunas piezas de azulejos de técnica plana, denominada «Delft», que sigue esquemas venidos desde Holanda, y que se caracteriza por una decoración de temática anecdótica, con figuras humanas y animales fantásticos, espontáneos y populares, inscritos dentro de un círculo tangente a la pieza.

Se puede encontrar también un ejemplo de retablo devocional, que tanto desarrollo va a tener en la ciudad de Sevilla. Representa en 25 azulejos la Virgen de la Merced flanqueada por dos presos (Inv. L.76).

Por último, en cuanto a las técnicas, hay que señalar un grupo de piezas que, datadas a fines del siglo XIX, debieron importarse desde el Levante español y están realizadas bajo la técnica de trepa, consistente en sobreponer a la

pieza ya cubierta de esmalte crudo una mascarilla de papel encerado y perforado que permite, pasando la brocha sobre ella, realizar rápidamente decoraciones «en reserva» en uno o más colores. La técnica no se conocía en Sevilla, aunque fue seguida como se demuestra en algunas piezas de este depósito (Inv. L.26).

Su decoración se centra en motivos modernistas, diferentes a los tradicionales de la azulejería sevillana (Inv. L.33).

En el análisis realizado sobre las medidas de las piezas cerámicas de este depósito, se ha estudiado según su función:

a) El azulejo de dos por tabla, utilizado en la decoración de las techumbres, tiene forma rectangular. Las medidas son mayores en el largo y el grosor de las piezas. La primera dimensión varía entre los 28 y los 24 cm y el grosor entre el 1,1 y los 2,8 cm; aunque el mayor número de los azulejos ronda la medida cercana a los 28 cm en el caso del largo. Por otra parte, el ancho de las piezas oscila entre 13 y 14 cm, siendo más frecuentes las piezas de mayor dimensión.

b) El azulejo de fondo, utilizado para los arrimaderos, tiende a la forma cuadrangular. Las medidas más habituales rondan los 13 cm pero han sido catalogadas algunas de 18 cm. El grosor en estas piezas es más homogéneo siendo la más habitual la de 2 cm. Estas medidas irregulares son propias de las piezas más antiguas, ya que desde fines del siglo XIX las medidas se unifican en piezas rectangulares de 28 × 12 cm.

c) Las piezas de origen levantino tienen una medida estándar de 14 × 14 cm, fruto de un proceso ya industrializado.

Para las piezas del inicio de la industrialización cerámica sevillana, ante la falta de documentación, se ha realizado un estudio del marcaje de los bizcochos de las mismas. Los diversos talleres sellaban sus piezas en el barro aún blando.

Estos sellos han ido evolucionando con el paso del tiempo. En las piezas más antiguas las marcas son fuertes, gruesas e incisivas en su mayoría, aunque algunas piezas encontradas en el depósito no sigan esta norma. Muchas de ellas poseen el nombre del taller alfarero y su procedencia «Sevilla». Sólo en piezas de época posterior se inscribe el nombre del arrabal sevillano famoso por su dedicación a la alfarería (Triana). Estas marcas han servido para establecer la cronología de las piezas azulejeras más modernas.

Con este análisis se presenta un almacén que, por el número de piezas y el aceptable estado de conservación de las mismas, es una importante fuente de información para el estudio de los revestimientos históricos cerámicos de la ciudad de Sevilla.

BIBLIOGRAFÍA

DOMÉNECH, R.

El azulejo sevillano. Dialpa ed. Sevilla, D.L. 1988, pág. 12.

ADAPTACIÓN DE UN DIGITALIZADOR DE PELÍCULAS FOTOGRAFICAS PARA EL ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS

por

A. POLVORINOS DEL RÍO y M. A. GÓMEZ MORÓN¹

RESUMEN

En el análisis por microscopía de luz transmitida de láminas delgadas de cerámicas antiguas, la incorporación del arsenal de métodos de procesamiento digital de imágenes permite extraer información cuantitativa de gran interés sobre su textura a través de los parámetros de forma y tamaño de los granos minerales y poros. Dicha información es significativa para el análisis de las tecnologías de producción y de la procedencia de objetos cerámicos de interés arqueológico.

La disponibilidad de equipos de digitalización de películas fotográficas con elevada resolución espacial y de coste asequible, flexibiliza la incorporación de imágenes de escalas variables, ya sean las captadas por sistemas fotográficos adaptados a microscopios, como de imágenes a escala real de láminas delgadas.

Se ha evaluado la utilización de uno de estos equipos de digitalización de películas fotográficas para el análisis textural y morfométrico de materiales cerámicos arqueológicos a escala real, para lo que se ha diseñado un soporte para láminas delgadas y polarizadores que posibiliten la toma de imágenes tanto con luz paralela como con polarizadores rotados.

Se ha realizado el análisis morfométrico de tres fragmentos cerámicos de textura muy fina con cuatro resoluciones espaciales distintas en el rango de trabajo del equipo. Utilizado un mismo procedimiento de segmentación se han obtenido imágenes binarias de poros y desgrasante y se han determinado diversos parámetros morfométricos a cada resolución, analizando los resultados.

¹ Dpto. de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. C/. Prof. García González, s/n, 41071 Sevilla.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de análisis microscópico de láminas delgadas y de difracción de rayos X son complementarias para la caracterización mineralógica de cerámicas y de aplicación generalizada en Arqueometría, si bien con frecuencia el análisis textural de láminas delgadas se limita a descripciones cualitativas y estimaciones semicuantitativas de algunos parámetros de forma y tamaño de poros y desgrasantes.

El desarrollo de tecnologías de adquisición de imágenes y la incorporación del arsenal de métodos de procesamiento digital de imágenes (González, 1992) y morfométricos (Fabbri, 1984 y Russ, 1994) permite extraer información cuantitativa de gran interés sobre la textura de los granos minerales y poros de las cerámicas arqueológicas para dilucidar problemas relativos a técnicas de producción de pastas y de cocción, así como de clasificación y de asignación de procedencia. En el esquema general del proceso de determinación de la morfometría de un conjunto de muestras cerámica, la primera fase tiene por objeto la adquisición de información digital en forma de imágenes de láminas delgadas.

A este fin, los equipos de uso más generalizado se basan en la incorporación al microscopio de una cámara de vídeo cuya señal procedente de dispositivos CCD es digitalizada por tarjetas (*frame buffers*) controladas por un ordenador. Dependiendo de la textura de la muestra, como en el caso frecuente de cerámicas groseras (granos y/o poros de talla apreciable), es evidente que incluso a bajos aumentos, el sistema óptico de magnificación que incorporan estos sistemas hacen que la superficie de muestra barrida por una imagen no sea representativa del fragmento cerámico a estudiar. En consecuencia estos equipos no son idóneos para trabajar a la escala deseada (que con frecuencia se aproximan a la real), ya que para determinar los parámetros morfométricos de dichas cerámicas requeriría una elevada cantidad de imágenes digitales que integrasen un número suficiente de objetos (granos minerales, poros) en el proceso de medida. Como alternativa y complementario a estos equipos de coste elevado, se propone el empleo de un equipo convencional de digitalización de diapositivas y película fotográfica para captar imágenes de láminas delgadas de cerámicas de interés arqueológico.

METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL ADAPTADOR

Los métodos morfométricos requieren la identificación de los límites de los objetos, es decir, granos minerales y poros para su cuantificación. Dicha identificación depende de las características ópticas propias de los objetos, así como de la orientación relativa entre los ejes ópticos de los minerales y el sistema de polarización de la luz.

Para aumentar el contraste y facilitar la separación de estos objetos de la matriz cerámica se requiere disponer de múltiples imágenes superponibles de la zona a analizar, y para ello se sustituye la convencional rotación de la

muestra por la del sistema de polarización; así la toma de imágenes con polarizadores en distintas posiciones relativas facilita la discriminación de poros y desgrasante en base a sus características ópticas.

La configuración convencional de adquisición de imágenes microscópicas adolece de su limitada resolución espacial; además, el rango habitual de aumentos del microscopio y de focalización de la imagen en la cámara de vídeo (CCD) hacen que cuando la textura de la muestra no es muy fina sea necesaria la toma de múltiples zonas de una lámina delgada para que su análisis estadístico sea significativo.

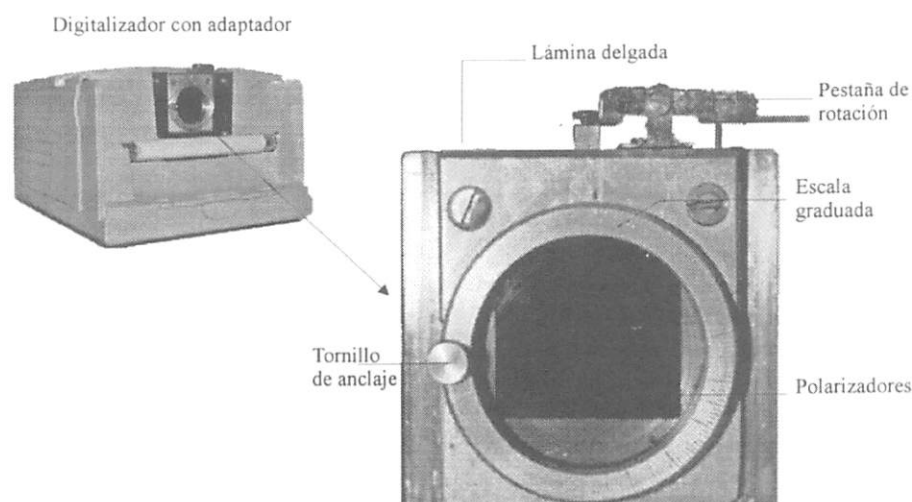


Figura 1

Ambas limitaciones pueden soslayarse empleando un sistema de digitalización convencional de diapositivas (fig. 1) que conectado a un ordenador PC permite captar imágenes en color o en b/n. Para alojar la lámina delgada a digitalizar en la óptica del equipo, se ha construido un adaptador, que incorpora polarizadores rotatorios, lo que permite captar imágenes iluminadas con luz polarizada paralela y con polarizadores cruzados similares a los observados en un microscopio petrográfico convencional.

El adaptador (fig. 1) está formado por una carcasa metálica de igual perímetro que un marco de diapositivas con una escala angular en el frente; en su interior hay una ranura que aloja la lámina delgada de forma que se sitúe en el foco óptico del equipo de digitalización. Otro elemento del adaptador lo constituyen dos ruedas dentadas divididas cada 4°, que se sitúan en la parte anterior y posterior de la carcasa; estas ruedas incorporan filtros polarizadores y un tornillo de anclaje entre ambas ruedas que fija la posición relativa entre los planos de polarización de la luz. Por último, una pestaña situada en la par-

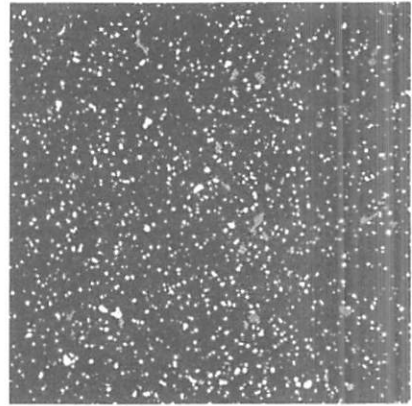
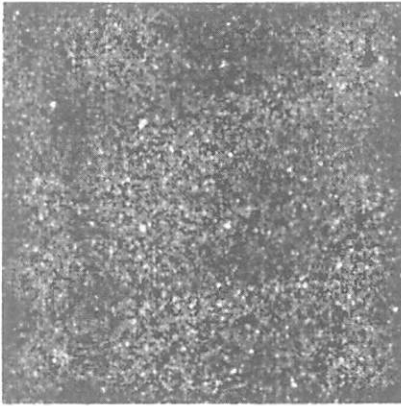
te superior derecha del adaptador libera el sistema de polarización para su rotación solidaria.

Para captar imágenes con polarizadores cruzados, éstos han de situarse en esta posición, es decir, aquella en que sea mínima la transmisión de luz, y fijarlos con el tornillo de anclaje a la carcasa; alojada la lámina delgada se apoyará en la pestaña para rotar el sistema de polarización a la posición deseada antes de digitalizar.

Para realizar observaciones con luz polarizada paralela se deberá extraer el analizador liberando el tornillo de anclaje y extrayendo la rueda posterior que lo aloja.

Imagen brillo pol. Cruzados

Res. 2700 ppp



Res. 750 ppp

Res. 1500 ppp

Res. 2000 ppp

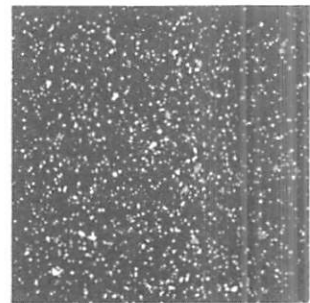
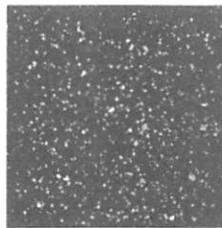
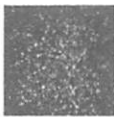


Figura 2

Tabla 1

Muestra	Área (%)	Resolución	Área	Perímetro	Eje mayor	Eje menor	Elongación	Redondez	D. Feret	Compacidad
N11 7.5mmx16.4mm	6.9%	750	0.0047	0.205	0.068	0.051	1.6	2.4	0.07	1.2
		1500	0.0027	0.181	0.053	0.037	1.6	1.1	0.06	1.1
		2000	0.0028	0.181	0.056	0.040	1.5	1.0	0.05	1.0
		2700	0.0020	0.148	0.046	0.033	1.5	1.0	0.04	1.0
		750	0.0050	0.206	0.071	0.055	1.4	2.0	0.07	1.0
		1500	0.0037	0.180	0.061	0.040	1.7	1.8	0.05	1.0
N10 8.3mmx8.3mm	11.1%	2000	0.0029	0.159	0.054	0.035	1.8	1.6	0.04	1.0
		2700	0.0031	0.181	0.057	0.033	1.8	1.1	0.04	0.9
		750	0.0034	0.175	0.058	0.049	1.4	2.1	0.06	1.1
		1500	0.0041	0.228	0.069	0.045	1.7	1.0	0.07	1.0
		2000	0.0032	0.174	0.056	0.042	1.4	1.3	0.05	1.0
		2700	0.0036	0.196	0.065	0.050	1.4	1.2	0.06	1.0
N4 6.4mmx9.3mm	4.2%	750	0.0055	0.215	0.077	0.054	1.7	2.1	0.07	1.1
		1500	0.0059	0.252	0.084	0.049	1.9	1.5	0.07	1.1
		2000	0.0055	0.237	0.082	0.044	2.1	1.4	0.06	1.0
		2700	0.0049	0.227	0.079	0.042	2.1	1.2	0.06	0.9
		750	0.0037	0.182	0.056	0.050	1.3	2.3	0.06	1.2
		1500	0.0035	0.199	0.060	0.046	1.5	1.4	0.06	1.1
N4 6.4mmx9.3mm	2.9%	2000	0.0028	0.171	0.053	0.042	1.4	1.3	0.05	1.0
		2700	0.0022	0.147	0.047	0.038	1.3	1.3	0.04	1.0
		750	0.0087	0.275	0.090	0.064	1.7	1.8	0.08	1.1
		1500	0.0058	0.230	0.074	0.049	1.7	1.5	0.06	1.0
		2000	0.0043	0.189	0.061	0.040	1.6	1.3	0.05	0.9
		2700	0.0038	0.187	0.058	0.036	1.6	0.9	0.05	0.9

APLICACIÓN Y CONCLUSIONES

Se han realizado el análisis morfométrico de tres cerámicas arqueológicas (N4, N10 y N11) de textura muy fina al objeto de evaluar la situación menos favorable a partir de imágenes captadas con el adaptador descrito.

En cada muestra y de una misma superficie se han captado imágenes con resoluciones 750, 1.500, 2.000 y 2.700 puntos por pulgada (ppp), es decir, doce conjuntos de imágenes.

Cada conjunto está formado por una imagen con luz paralela y tres con polarizadores cruzados en distintas posiciones angulares. Para cada lámina y a cada resolución se ha seguido un mismo procedimiento de extracción de desgrasante y poros, tras lo cual se ha realizado la medida de parámetros de forma y tamaño. El resultado final para la muestra N10 se ilustra en la fig. 2, en la que además de una imagen en tonos de gris tomada con polarizadores cruzados, se incluyen las imágenes para las cuatro resoluciones estudiadas, de los límites del desgrasante en blanco, en gris los poros y en negro la matriz cerámica.

Los parámetros de tendencia central estimados de cada uno de los parámetros morfométricos para cada muestra y a las resoluciones estudiadas se indican en la tabla 1.

Los resultados indican que al aumentar la resolución de digitalizaciones se detectan mayor cantidad de poros y granos de desgrasante de tamaños bajos, lo que hace que la media global de dichos parámetros disminuyan, si bien a partir de imágenes con resolución 1.500-2.000 ppp dichos parámetros se estabilizan.

Este mismo efecto se observa al calcular la dimensión fractal de poros y granos de las tres muestras (fig. 3) lo que indica que la utilización de resoluciones del orden indicado son adecuadas para la cuantificación morfométrica incluso de cerámicas con textura muy fina (tabla 1).

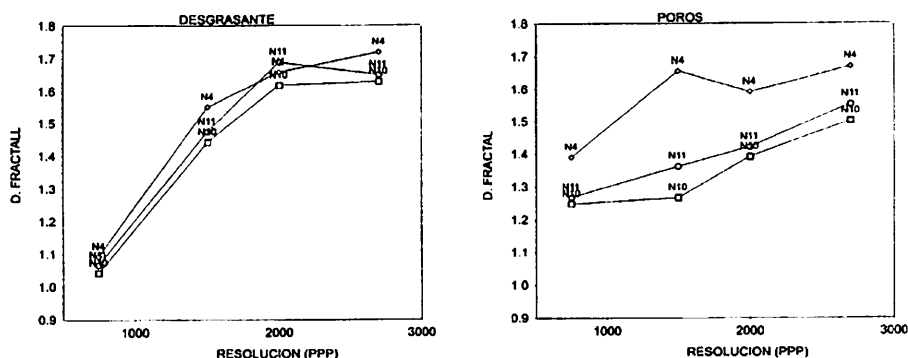


Figura 3

Se concluye por tanto que las imágenes adquiridas por un equipo convencional de digitalización de diapositivas y el adaptador realizado son adecuados para el estudio morfométrico de un amplio rango de texturas cerámicas. El adaptador permite captar de una amplia superficie de la lámina delgada imágenes de características ópticas idénticas a las de un microscopio petrográfico para su procesamiento digital. La utilización de estos equipos de coste reducido con el adaptador descrito obvian la necesidad del empleo de un microscopio para el estudio morfométrico de las cerámicas arqueológicas habituales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del Proyecto PB94-1450 de DGICYT.

BIBLIOGRAFÍA

FABBRI, A. G.

Image processing of geological data. Van Nostrand-Reinhold. U. K. 224 p.

GONZÁLEZ, R. C. y WOODS, R. E.

Digital image processing. Addison-Wesley Pub. Co., Reading, Massachusetts, 716 p.

POLVORINOS DEL RÍO, A. y GÓMEZ MORÓN, A.

Adaptación de un digitalizador de películas fotográficas para el análisis morfométrico de cerámicas arqueológicas. II Congreso Nacional de Arqueometría, Zaragoza, 1997.

RUSS, J. C.

The image processing handbook. Second Ed. CRC Press Inc. 1995. 674 p.

ARQUEOMETRÍA Y ETNOARQUEOLOGÍA EN LA INTERFASE: PRODUCCIÓN CERÁMICA EN LOS BOSQUES DE ITURI, ZAIRE

por

J. MERCADER¹, M. GARCÍA HERAS¹ e I. J. GONZÁLEZ ÁLVAREZ²

RESUMEN

A partir de un modelo de trabajo etnoarqueométrico en el que se manejan datos etnoarqueológicos referentes a procesos de producción cerámica procedentes de la región de Ituri (NE Zaire), se ha diseñado un experimento para contrastar el grado de resolución en la estimación de la procedencia de la cerámica de algunas de las técnicas de caracterización arqueométrica más comúnmente utilizadas. Esta contrastación ha permitido valorar críticamente el grado de resolución de estas técnicas en una región geológicamente homogénea y sus implicaciones para proponer modelos explicativos heurísticos sobre procedencia de cerámicas basados en datos arqueométricos.

1. INTRODUCCIÓN

A través de técnicas de caracterización arqueométrica puede obtenerse un completo conocimiento de los procesos de producción de la cerámica y, en consecuencia, una aproximación más crítica a los problemas culturales que plantea. No obstante, este conocimiento y su valoración crítica se incrementan cuando se dispone de datos etnoarqueológicos con los que poder contrastar el grado de resolución de las técnicas empleadas, siguiendo así un modelo de razonamiento etnoarqueométrico (Figura 1) (García Heras, 1996).

Esta investigación se basa en un modelo de estas características, en la que se han aplicado técnicas de caracterización para evaluar la producción cerámi-

1. Departamento de Prehistoria. Facultad de Geografía e Historia. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

2. Departamento de Geología. Universidad de Oviedo. Jesús Arias de Velasco, s/n. 33005 Oviedo. Asturias.

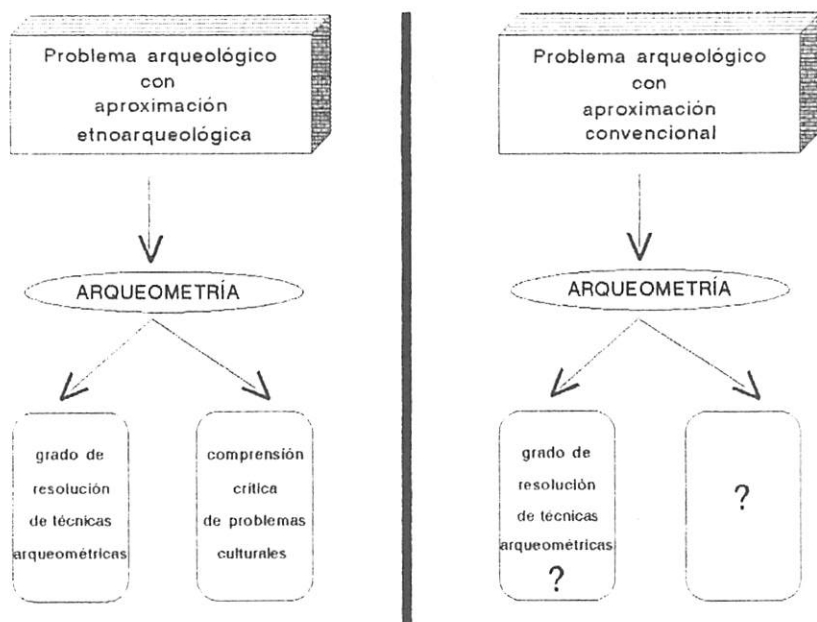


Figura 1. Modelo de trabajo etno-arqueométrico.

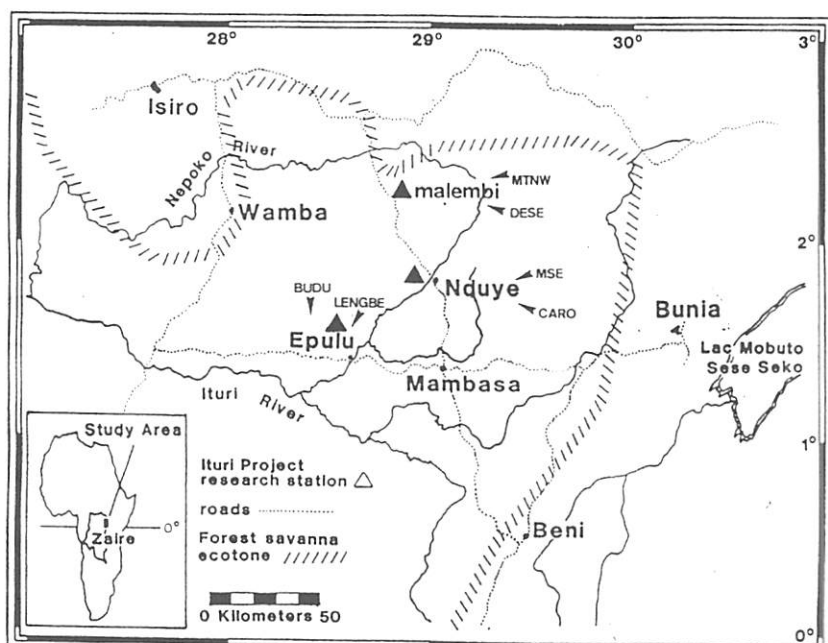


Figura 2. Bosques de Ituri en el NE de Zaire. Situación del área de estudio (según Bailey y De Vore, 1989; modificado por Mercader).

ca moderna y arqueológica en las pluvisilvas de Ituri (NE Zaire). La investigación forma parte de la Tesis Doctoral de uno de los autores (Mercader, 1997) sobre el poblamiento de la selva centroafricana, que se inscribe en el Proyecto del Ituri, un proyecto internacional fundado en 1980 por el Dr. R. C. Bailey. Esta Tesis ha sido financiada por el Ministerio de Educación y Cultura español. El estudio parte del trabajo etnoarqueológico realizado en tres localidades entre las gentes Lese Dese (Malembi), Lese Caro (Nduye) y Budu (Epulu) (Figura 2), en donde se registraron sus secuencias completas de producción cerámica, se obtuvieron fragmentos de cerámica actual y se tomaron muestras de los sedimentos arcillosos utilizados por las alfareras de dichas localidades. Asimismo, la evidencia arqueológica procede de los sondeos realizados en cuatro yacimientos situados en estos mismos lugares: Makubasi SE (MSE) y Koma Tufe (Nduye), Lengbe (Epulu) y Matangai Turu NW (MTNW, Malembi) (Figura 2) (Mercader, 1996, 1997). Ambos tipos de información fueron obtenidos en dos campañas de seis meses de duración cada una, llevadas a cabo en 1993 y 1995 en la Okapi Wildlife Reserve.

La zona de estudio se encuentra situada en el Macizo Granitoide del Alto Zaire que limita en su parte S con la cubeta del río Zaire (Lavreau y Ledent, 1975). Dicho Macizo está constituido por un enjambre de intrusiones ígneas sin apenas deformación, lo cual indica que durante su formación la zona era tectónicamente estable (González Álvarez, 1996). Geomorfológicamente, esta zona se caracteriza por la presencia de Inselbergs de tipo pan de azúcar asimétrico, cuyo origen está relacionado con la fracturación producida por la actividad del rift africano que se sitúa al NE de la zona.

Los objetivos de la investigación se han centrado, por un lado, en caracterizar y comparar la producción cerámica moderna y arqueológica, con el fin de conocer, tanto las tradiciones cerámicas existentes en la región como su variabilidad tecnológica. Por otro lado, en contrastar el grado de resolución en la estimación de la procedencia de la cerámica, de las técnicas de caracterización arqueométrica empleadas. Esta comunicación se centra en el experimento llevado a cabo en dicha contrastación.

En la secuencia de producción observada en las tres localidades mencionadas, los sedimentos seleccionados como materia prima se utilizan sin adición de elementos externos (desgrasante en términos arqueológicos tradicionales). Tras un período variable de almacenamiento en los poblados, se procede a la preparación del sedimento que se lleva a cabo primero mediante un proceso de machacado y, después, de amasado y homogeneización. La elaboración de los recipientes se realiza por el método de rulos superpuestos, alisándose posteriormente las paredes con útiles de calabaza. La decoración, conocida como «roulette», se realiza a continuación deslizando sellos rígidos de madera, o flexibles de fibra, sobre la superficie aún húmeda de la cerámica. El tiempo medio de secado de los recipientes antes de ser cocidos varía entre 5 y 7 días. La cocción se realiza en hogueras al aire libre que producen cocciones irregulares en las que se alternan atmósferas oxidantes y reductoras, proporcionando coloraciones heterogéneas a las piezas y en las que las temperaturas muestran una

gran variabilidad. La duración de estas cocciones raramente supera los 30 minutos. Por otro lado, una vez finalizada la cocción, se aplica en caliente una resina que impermeabiliza las paredes de los recipientes cerámicos.

2. MATERIALES Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS

En este trabajo se han analizado, mediante lámina delgada y Difracción de rayos x (XRD), un total de 15 fragmentos cerámicos modernos y 50 arqueológicos. Asimismo, también se han analizado 8 muestras de sedimentos arcillosos de los distintos pasos de la secuencia de producción, procedentes de pozos explotados en la actualidad por las alfareras mencionadas anteriormente. La caracterización textural de estos sedimentos se realizó mediante análisis mecánico con pipeta de Robinson, siendo calcinados en horno eléctrico (HOBERSAL Modelo HE-22) y atmósfera oxidante a 600, 700, 800 y 900 °C, ya que se estimaron estos rangos de temperatura como los más probables alcanzados en las cocciones observadas en el trabajo de campo (García Heras, 1996: 5). Para la observación petrográfica se utilizó un microscopio OLYMPUS Modelo C011 y un NIKON Labophot-Pol, mientras que para las difracciones el equipo utilizado ha sido un SIEMENS D-5000, usando la radiación K alfa del Cu (1,54060 Å) y bajo condiciones de trabajo de 40 Kv y 40 mA. Los barridos se realizaron entre 2° y 60° 2 theta.

El experimento fue realizado por dos personas distintas y sólo con el material cerámico moderno. Una de ellas entrenada en el análisis petrográfico de cerámicas arqueológicas (García Heras) y otra entrenada en el análisis petrográfico de rocas, pero sin experiencia en el análisis de cerámicas (González Álvarez). Ambos han contado con los datos obtenidos, tanto en la caracterización de los sedimentos arcillosos como en la de las cerámicas modernas, aunque ninguno conocía ni la procedencia exacta de los sedimentos, ni la de los 15 fragmentos cerámicos. De esta forma, se trató de contrastar la procedencia real de las cerámicas con la propuesta por ambos investigadores.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los sedimentos se clasifican como «sandy loam» y «sandy clay loam». Tanto en éstos como en las cerámicas se identifican las siguientes fases: illita, caolinita, montmorillonita, cuarzo, albita, microclina, biotita, moscovita y pequeñas cantidades de epidota y anfíboles. La litología del sustrato donde se recogieron las muestras arcillosas se corresponde con una masa de granodioritas, granitoides ricos en cuarzo, sienogranitos y monzogranitos, con pequeños afloramientos de anfibolitas, diabasas, eclogitas y tonalitas (González Álvarez, 1996). Esta litología es la que, básicamente, aparece tanto en los sedimentos arcillosos como en las cerámicas. Por ello, puede asumirse que las arcillas utilizadas como materia prima en la manufacturación de cerámica, podrían proceder de la alteración directa de este tipo de sustrato. Sin embargo, dada la gran

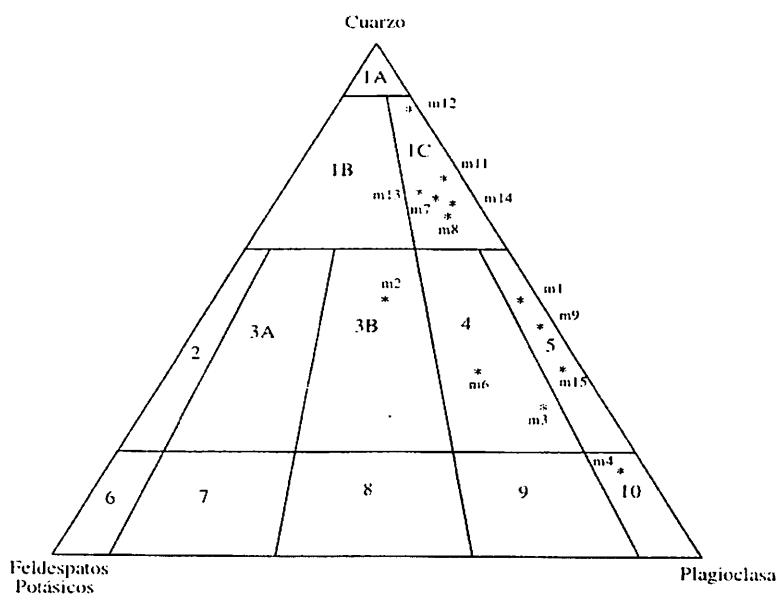


Figura 3. Clasificación de las muestras cerámicas según el triángulo de Streckeisen (1976). 1A Cuarzita. 1B Cuarzogranito. 1C Cuarzogranodiorita. 2 Granito alcalino. 3 Granito. 3A Sienogranito. 3B Monzogranito. 4 Granodiorita. 5 Cuarzodiorita. 6 Sienita alcalina. 7 Sienita. 8 Monzonita. 9 Monzodiorita y Monzogabro. 10 Diorita.

Tabla 1. Procedencia de las muestras cerámicas según los resultados de las técnicas de caracterización.

MUESTRA	PROCEDENCIA REAL	CLASIFICACIÓN (STRECKEISEN, 1976)	PROCEDENCIA SEGÚN GARCÍA HERAS	PEROCEDENCIA SEGÚN GONZÁLEZ ÁLVAREZ
M-1	Nduye	Cuarzodiorita	Nduye (*)	B
M-2	Nduye	Monzogranito	Malembi (♦)	?
M-3	Nduye	Granodiorita	Malembi (♦)	B
M-4	Nduye	Diorita	Epulu (♦)	?
M-5	Nduye	Granodiorita	Epulu (♦)	B
M-6	Nduye	Granodiorita	Malembi (♦)	B
M-7	Nduye	Cuarzogranodiorita	Nduye (*)	A
M-8	Nduye	Cuarzogranodiorita	Malembi (♦)	A
M-9	Nduye	Cuarzodiorita	Nduye (*)	B
M-10	Epulu	Cuarzodiorita	Epulu (*)	B
M-14	Epulu	Cuarzogranodiorita	Nduye (♦)	A
M-15	Epulu	Cuarzodiorita	Epulu (*)	B
M-11	Malembi	Cuarzogranodiorita	Nduye (♦)	A
M-12	Malembi	Cuarzogranodiorita	Malembi (*)	A
M-13	Malembi	Cuarzogranodiorita	Nduye (♦)	A
M-12	Malembi	Cuarzogranodiorita	Malembi (*)	A

(*) Procedencia acertada. (♦) Procedencia fallada. ? Muestras no clasificadas.

homogeneidad mineralógica que presentan tanto las muestras arcillosas como las muestras cerámicas, las únicas diferencias que pueden establecerse entre ellas se hallan relacionadas con la mayor o menor presencia de uno u otro término de feldespatos, es decir, albita (plagioclasa sódica) o microclina (feldespato potásico).

De este modo, los resultados expuestos en la Tabla 1 muestran que sólo en un 46,6 % de los casos la procedencia estimada por uno de los investigadores es correcta (García Heras), mientras que para el otro (González Álvarez) sólo es posible una clasificación de las muestras en dos conjuntos diferenciados. Esta clasificación se expone en la Figura 3 que ha sido realizada a partir del triángulo de clasificación de Streckisen (1976), tomando sólo las inclusiones de los minerales cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa renormalizados a 100 presentes en las cerámicas y asumiendo que su materia prima procede de la alteración directa del sustrato mencionado anteriormente. En este sentido, es importante tener en cuenta que los procesos de alteración habrán reducido principalmente la cantidad de feldespatos, aumentando en consecuencia la proporción de cuarzo. Por esta razón, habría que pensar que la clasificación real de la roca sufriría un corrimiento hacia la base del triángulo.

La presencia de dos agrupaciones en las muestras cerámicas estudiadas puede indicar que las fuentes de arcilla de las tres localidades pertenecen sólo a dos naturalezas litológicas distintas. Este aspecto ya se ponía de manifiesto en el análisis de los sedimentos arcillosos, puesto que en dos de ellos no existían diferencias notables desde un punto de vista mineralógico.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este experimento sugieren que, en ausencia de información etnográfica y debido a las similitudes estructurales y mineralógicas que presentan las muestras, las técnicas utilizadas sólo contarían aproximadamente con un 50 % de resolución a la hora de asignar procedencias concretas a fragmentos cerámicos de procedencia desconocida. Este aspecto indica, expresado en otras palabras, que podría haber un porcentaje desconocido de cerámicas arqueológicas que aparezcan en yacimientos en los cuales no se manufacturaron, con lo que ello implica en la proposición de modelos explicativos en el estudio de estas producciones cerámicas.

En cualquier caso, estas conclusiones cuentan con ciertas limitaciones, entre las que cabe destacar el corto número de muestras analizadas y la falta de aplicación de un método geoquímico preciso que habría permitido la obtención de un mayor grado de resolución y, por tanto, una mayor capacidad de inferencia en los resultados de este experimento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAILEY, R. C. e I. DE VORE

(1989) Research on the Efe and Lese populations of the Ituri Forest, Zaire. *American Journal of Physical Anthropology*, 78, 459-471.

GARCÍA HERAS, M.

(1996) *Arqueometría y etnoarqueología en la interfase. Informe del proyecto de estudio etno-arqueométrico de la producción cerámica en la selva del Ituri (NE Zaire)*. Informe interno del Proyecto Ituri, Madrid.

GONZÁLEZ ÁLVAREZ, I. J.

(1996) *Informe petrográfico de las muestras de Malembi, Nduye y Epulu*. Informe interno del Proyecto Ituri, Madrid.

MERCADER, J.

(1996) Arqueología en la Cuenca del Congo. *Revista de Arqueología*, 177, 30-39.

(1997) *Bajo el techo forestal. La evolución del poblamiento en el bosque del Ituri, Zaire*. Tesis Doctoral inédita, Universidad Complutense, Departamento de Prehistoria, Madrid.

LAVREAU, J. y D. LEDENT

(1975) Établissement du cadre géochronologique du Kibalien (Zaire). *Annales de la Société Belgique*, 98, 197-212.

STRECKEISEN, A.

(1976) Teach plutonic rock its proper name. *Earth Science Review*, 12, 1-33.

ETHNOARCHAEOLOGY IN SAHMURATLI VILLAGE BY KERKENES EXCAVATIONS IN TURKEY¹

por

BEGÜMŞEN ERGENEKON²

SUMMARY

This paper is about an ethnoarchaeological research which aims at providing cultural information on the Sahnuratli Village for the Kerkenes Mountain Archaeological Project. Methods of social anthropology and ethnoarchaeology are used. Sahnuratli which identifies itself with the Castle of Keykavus on the mountain is a modern village which has become part of the urban world in Turkey and Europe through the market economy, kinship ties, modern houses level of education, efficient means of transportation and communication, patterns of consumption and information about Turkish and world affairs. The villagers are no more traditional peasants but commercial farmers and landlords.

INTRODUCTION

The archaeological survey of Kerkenes Iron Age City in Yozgat, situated between the Hittite capital Hattusa and Cappadocia east of Ankara, is led by Dr. Geoffrey and Françoise Summers of METU. Started in 1993 it has completed its 5th season. Kerkenes was ancient Pteria, founded by the Median king Aystages, following the «Battle of the Eclipse», 28th May 585 BC. (Summers, 1997). According to Herodotus of Halicarnassus in Turkey, «Cresus destroyed it in 547 BC, following his divinely sanctioned crossing of the Halys (Kizilir-

1. I extend many thanks to Geoffrey and Françoise Summers who inspired me, the Sahnuratli people, local authorities at Sorgun Town, my colleagues at Dept. of Archaeometry and Modern Languages and last but not least Social Anthropologist Ms. Aylan Erkal (Ankara Univ.) who assisted me two seasons.

2. Co-chairperson of Dept. of Archaeometry
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Middle East Technical University (METU), Ankara (Turkey).

mak), in the mistaken belief that he would destroy the Persian Empire of the Achaemenid Dynasty after the fall of the Median Dynasty, rather than his own» (Summers, 1997).

According to Dr. Summers the ancient city of the Kerkenes Mountain was originally inhabited sometime between the 6th and 5th century BC. The granodiorite rocks, cold springs, pear trees, bushes, grass vineyards and orchards give the site its present characteristic look. The city walls are 7.5 km in length and 4.6 m in width. There are no traces of a second inner wall. The area within the city walls has almost totally been utilized. There is a highly efficient system of water collection and distribution. Summers has determined two areas, one at the north and the other at the south which distinguish themselves as important locations enclosing public places, a palace and a wide street. The geophysical evidence suggests that the construction of the city was not totally finished when it was abandoned and therefore the settlement could survive less than a generation only. It was destroyed by fire. Summers, team has dated the pottery found at the site to be from the 6th cent. BC. The site is not obscured by later settlements except two much smaller locations inhabited later. The peak of Keykavus was inhabited at the Hellenistic period while the southwestern end of city has been occupied until the early Byzantine times (Summers & Summers, 1994: 2-20).

The objective of this ethnoarchaeological research, which has started in 1995, is to present information to the archaeologist by studying the same variables under different conditions to test hypotheses to do experiments and find answers to questions that arise during archaeological investigations. The Kerkenes and Sahmuratli people manipulate (d) similar environments but in different ways. Childe, the pioneer of Western socio-archaeology, has suggested to the archaeologists that «the study of living human societies as functioning organisms» is revealing (Gjessing, 1975:324). We have then to assume that an understanding of the past is only possible with reference to social processes occurring in the present (Watson, 1979:5, McIntosh, 1986:148). Because, while archaeologists deal «with artifacts arranged in types or class» «social anthropologists work with functional coherent systems» (Gjessing, 1975:331). Ethnographic data, therefore can serve to facilitate the testing of hypotheses in relating material and behavioral/cultural phenomena as well as serving «as basis for models of particular social relations which are postulated to have been the context for an observed archaeological structure» (Binford, 1989:270). While Social Anthropology holistically studies the structure and function in the human behaviors of present societies (Radcliffe-Brown, 1935:359), the ethnographer studies their material culture with little emphasis on the social relations they reflect. Therefore «ethnoarchaeological research investigates aspects of contemporary sociocultural behavior from an archaeological perspective» integrating «ethnographic and ethnohistoric data with archaeological data» (Kramer, 1979:1,3; McIntosh, 1986:148).

METHODS

The daily life is recorded through photographs, films and social anthropological methods of participant observation, in-depth interviewing of key informants, collecting place names, recording oral history, legends and lyrics. Documents and maps kept by the local authorities are inspected. Visits are made to lands, sights and settlements around the village.

SAHMURATLI VILLAGE

Sahmuratli Village is situated 12 km south of Sorgun Town and 30 km east of the city of Yozgat near Ankara. Sahmuratli (1,150 m) is located on the eastern slopes of Mt. Kerkenes (1,472 m). There are lignite, zinc and lead mines and thermal springs within a distance of 3 to 150 km. Of the 9 villages surrounding the mountain, Sahmuratli is the closest to the ancient city (2 km). The villagers work in their fields at an altitude of 1,000 m. It has hot and dry summers with sudden thunderstorms and long and cold winters with heavy snowfall. There are creeks that run down from the mountain and pass by the village. An artesian well supplies the houses with running water (Ergenekon 1996a:10). There is electricity and telephone and a good road connects it to Sorgun town. The mosque and the village primary school render the only public services there. There is a small shop. A village headman (mukhtar) and the council of elders including the village guard, elected at the local elections govern the village. The mukhtar has the authority to register marriages in front of two witnesses in his office. Other officials representing the central government are the two school teachers and the Imam. There are little disputes among the villagers and with other villages when property rights are concerned. Lands are registered by official cadastration and protected by the Turkish Law. Village administration organizes economical support and labor among the villagers for projects of collective interest.

The villagers have a good deal of fair haired and blue-eyed people with a heavy tan who are of medium height and jovial in character. The population has been decreasing recently due to emigration. 333 (171 M, 162 F) people lived in 76 households in July 1997 compared to 87 households in 1994 and 103 households (471 people with 223 M, 248 F) in 1990. Birth and death rates are low. Emigration gained momentum towards the end of 1960s due to the push of mechanization and consequent unemployment and the pull of urban jobs and services. Sorgun, Yozgat, Ankara, Istanbul, Izmir, Germany, Holland, France and Australia are the main destinations of emigration where they are employed as workers or minor employees. Few families have moved back after retiring from skilled or semi-skilled jobs in the cities.

All villagers are farmers except the mukhtar who runs a commercial poultry of 4,000 chicken and a 70 year old self retired iron-smith. There are several doctors, agricultural engineers, teachers, officers, technicians, artisans like gold-smiths, tailors, or shop-keepers selling clothes, shoes furniture, in towns

or other cities and countries. The village economy is based on cash-crop agriculture. They own around 90 square kilometers of land 53.3 sq. km of which is within the ancient city walls. The practice of fallow is abandoned recently after the mechanization and intensification through fertilization and wild grass management after 1965. This increased land productivity and reduced the drudgery of labor. There are 201 registered farm machinery including 32 tractors. In 1997, 5 of 76 families owned lands between 400 and 100 acres while the rest owned lesser. Only the mukhtar's family who ran a poultry farm had no land.

The villagers follow a folk calendar adjusted to their ecosystem which divides the year into four according to the earth's movement around the sun. These are 21-22 March (Spring), 21-22 June (Summer), 21-22 September (Fall) and 21-22 December (Winter). The agricultural calendar fits into this calendar. Months are referred to in numbers, January being the first. The year starts in September when the fields are prepared. They are then cultivated in October. There is a rest period between November and February. In March the vineyards are tended and all grains and lentils are cultivated. In April the crops fertilized with Nitrogen and chemicals are used to kill the wild grass. In May chick-peas and vegetables are cultivated and the vineyards are tended again. There is a break in June. In July barley, rye, oat are harvested and lentils are picked. In August wheat is harvested and the chick-peas are picked. The products are then sold at the local grain market to prices determined by the state or to private traders who can pay more.

New and profitable crops like lentils and chick-peas were added to the traditional crops of wheat, rye, barley and vetch recently. Seasonal labor among Gypsy, Turkish, Arabic and Kurdish campsites is hired for picking lentils and chick-peas. Vine cultivation and animal husbandry have recessed in recent years due to emigration. Only two families own commercial sheep herds while one family owns cattle. The nearest markets for them are in Yozgat and Ankara. All families however keep a few sheep and cattle for their own use. All animals are grazed at Mt. Kerkenes. Yozgat and Sorgun were known as regions of horse-racing. Horses have however completely been replaced in the surrounding villages as well as Sahmuratli by private cars and minibuses. Two families keep bee-hives at their vineyards and men go partridge hunting when snow falls on Kerkenes. Along the creek east of the village the villagers own vegetable gardens where they grow beans, maize, parsley, green pepper, cucumbers and tomatoes with some fruit trees and poplin woods used for construction and trade. The Kerkenes mountain is rich with herbs such as thyme and rosebud bushes which are used as spices to cure pain and some diseases. A certain kind is used as an incense for ritual purification when social occasions such as weddings and male circumcision call for it to keep the evil away. Agricultural products are stored after they are processed through sun-drying or pickling of some fruits and vegetables, salting of vine leaves, processing wheat grains to make «bulgur», processing grapes to obtain molasses of different concentrations. Cheese, butter, cream and yogurt are made with

electrical equipment or bought ready made from traveling salesmen. Flat bread is made by women through cooperation called «imece», once every month or so for each household. They are then kept in a dry place for consumption. «Ayran» made of diluted yogurt and grape molasses, water, are drunk cold while hot tea is consumed at every occasion. Local breakfast is served in the morning and at noon while cooked meals are eaten around 8 p.m. Meals which consist of soups, various dishes of bulgur, homemade macaroni and flour vegetable dishes, tomatoes, cucumbers and green peppers as salads. Various deserts of molasses and milk, sweets and pastries are heavily supplemented with a variety of bread. Wooden spoons are replaced by metal ones and are used for soups or stews while drier dishes are scooped up with a piece of dry bread by hand from a common large pan. The family sits on cushions around a circular and small wooden table of 15 cm. Pulling the cloth underneath it over their knees to serve as napkins. Guests however are given a separate plate, utensils and glass.

According to the oral history the village is said to have been founded 500 years ago by three lineages by the founder of the ancient city who was called Shah Murat, therefore the village name (Ergenekon, 1996b:12). The village has 2 quarters known as the Upper Quarter and the Lower Quarter. Villagers have abandoned their old one-storey houses built of grano-diorite stone foundations, mud-brick walls, wooden floors and ceilings and flat roofs designed to house the family, the farm animals and store agricultural products and traditional equipment. It kept them warm in winter and cool in summer. New houses generally of two-storeys, stone foundations, brick walls and tiled roofs are built the last 20 years. They keep hot in summer and cold in winter which have to be heated with dung, fire-wood or lignite coal. The first floors are used to keep farm machinery, cars and as storage while a corner is reserved for a few farm animals. New houses contain a separate bath-room and an indoors toilet (for the elderly) but the outdoors one is used as a rule. Toilets empty into a closed cesspool. Gas burners are used in kitchens to cook food. An outdoors oven house is built within the housing premises enclosed with a wall for privacy. Clothes are first boiled then washed with soap or detergent. Most families have a well in their gardens. Of the 76 houses 19% has 5 rooms, 41.8% has 4, 17.6% has 2 and 4% has 1 room. Number of persons per room is 0.78 while number of rooms per person is 1.2 for the whole village. Roofed areas range between 100 to 300 square m.

The inhabitants are related to each other and the surrounding villages through endogamy. Almost predetermined marriage partners are children of siblings of the same (parallel-cousin) or the opposite sex (cross-cousin) of the parents' or grandparents' generation whether they be in Sahmuratli, Holland or Germany. There is bride-price and intricate preparations and rituals at every step of an act of marriage. It is finalized by a 4-day conspicuous wedding which starts on Thursdays and ends on Sundays. Chastity is important and divorce is practiced only when it is absolutely necessary. Eloping happens when families do not give consent to a marriage partner. Pregnant women are taken

to the hospital 12 km away. The water cisterns of the ancient city are now pools of mud fostering frogs and leaches. These places which have international fame are believed to cure skin diseases such as scabby or hemorrhoid and barrenness. One only has to bath in them (Ergenekon, 1996a:10).

A local dialect of the Turkish language is spoken in Sahmuratli. The villagers are positive to literacy training of the illiterate and educating their children. They are proud of all the theologians, poets, authors and statesmen who were once natives of this village. A few legends and their versions which date back to Shah Kay Kawus (Keykavus) who was either the father or the son Cambyses of Shah Cyrus of Persia from the 6th cent. BC. (Lewy, 1949; Ergenekon, 1997). The villagers are quick to compose rhymes, verses and poems that fit a social situation (Ergenekon 1996b:12). The local tradition of weaving impressing fabrics and rugs is unfortunately abandoned by women.

The villagers follow the Moslem Sunnite sect with pre-Islamic elements in it. Two nearby villages are however Moslem Alewites which is a mixture of mainly Islam and some Christianity. With higher income, more people visit Mecca for pilgrimage nowadays. When someone dies they are buried in one of the local cemeteries. There are rituals which take place during and after a burial. Some use ready made rectangular sarcophagi to frame and mark the grave with lyrics or a verse from the Koran written on the tombstone. Women wear scarves and dresses while long stockings cover their legs, men wear a shirt and trousers. Woolen sweaters and coats are used in winter. The traditional «salvar», the baggy trousers, is abandoned as a local dressing.

CONCLUSION

Sahmuratli village is situated at a place which gives access to centrally placed resources such as pasture and agricultural land, water, flora, fauna, mines, seasonal human labor and services. The location allows the circulation of trade goods by good roads and effective transportation. The villagers make use of modern machines in agriculture and electrical household equipment in domestic labor. However they still keep traditional farming equipment and utensils at home to be used when necessary or there is shortage of electricity. Traditional methods and equipment are used when they are not replaced by modern ones. The material culture of Sahmuratli keeps some traditions intact such as marriage patterns while machanization has defined new roles to the peasants which require a change in behavior as far as relation to land, housing and living standards are concerned. The Kerkenes City was most likely situated at a place that gave access to natural resources as well as defense and political supremacy. The elite of the city must have exploited villages far and wide who were most probably tilling the land with the oxen-plow and harvesting it with manual labor and wooden equipment still available today. Yet there is more to be discovered about Sahmuratli and the other villages around the mountain. Whether Shah Murat is the founder of Kerkenes City, this village or both has yet to be answered in the seasons of 1998-99.

REFERENCES

BITTEL, Kurt

(1960-61) Legenden vom Kerkanes-Dag (Kappadokien). *Oriens*, XXIII-XIV: 29-34.

BINFORD, Lewis R.

(1989) Methodological Considerations of the Archaeological Use of Ethnographic Data in *Man the Hunter*, R. B. Lee and de Vore (Eds), Aldine Publishing Co., pp: 268-273.

ERGENEKON, Begümsen

(1996a) Kerkenes ve bir Köy Kültürü. *Sila*, nr. 1/2. s. 10.

(1996b) Kerkenes Sahmuratli Köprüsü. *Sila*, nr. 1/3 s. 12

(1996c) Kerkenes Dagi: Bir Dag Efsanesinin Pesinde. *Atlas*, nr. 11:136-144.

(1997) Kerkenes ve Keykavus Efsaneleri (forthcoming). *Sila*,

GJESSING, Guttorm

(1975) Socio-archaeology in *Current Anthropology*, Vol. 16, No. 3, pp. 323-343.

KRAMER, Carol (Ed)

(1979) *Ethnoarchaeology: Implications of Ethnography for Archaeology*, Columbia U. Press N.Y.

LEWY, Hildegard

(1949) The Babylonian Background of the Kay Kaus Legend *Orientalia*, XVII: 28-109.

MCINTOSH, Jane

(1986) *The Practical Archaeologist: How we know what we know about the Past*, The Paul Press Ltd., pp. 146-173.

RADCLIFFE-BROWN, A. R.

(1935) On the Concept of Function in Social Science, in *American Anthropologist*, 37.

SUMMERS, Geoffrey and Francoise

(1994) The Mountain Top City on Kerkenes Dag (Yozgat) in Cappadocia, in *Arkeoloji ve Sanat Yil 16 Sayi 62-63* pp. 2-20.

SUMMERS, Geoffrey

(1997) The Identification of the Iron Age City on Kerkenes Dag in Central Anatolia, *J. of Near Eastern Studies Univ. of Chicago*.

WATSON, Patty Jo

(1979) *Archaeological Ethnography in Western Iran*, Viking Fund Publications in Anthropology, No. 57.

ANÁLISIS DE MUESTRAS ARQUEOMETALÚRGICAS MEDIANTE TÉCNICAS NUCLEARES*

por

M. FERNÁNDEZ¹, M. A. RESPALDIZA¹,
M. HUNT², V. HURTADO², M. F. DA SILVA³ y B. GÓMEZ-TUBÍO⁴

RESUMEN

Dentro del proyecto de investigación arqueometalúrgica del SO de la Península Ibérica, que se está llevando a cabo por los Departamentos de Prehistoria y Arqueología y de Física Atómica, Molecular y Nuclear de la Universidad de Sevilla, se han realizado nuevos estudios que complementan trabajos anteriores y que se refieren, fundamentalmente, a la caracterización de hallazgos de carácter arqueológico relacionados con la producción de metales en épocas prehistóricas.

Además de ampliar los análisis sobre escorias del tipo denominado de «sílice libre» en las que se está poniendo especial énfasis, se relacionan éstas con minerales de los que hipotéticamente proceden, así como con un fragmento de lingote de plata procedente del mismo contexto arqueológico.

Los análisis se han realizado utilizando el método de PIXE con el acelerador Van de Graaff del ITN de Sacavem (Lisboa), usando protones de 2.5MeV, así como mediante la técnica de XRF con dispersión en energía realizada en el Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear de la Universidad de Sevilla, utilizando una fuente anular de ²⁴¹Am.

* Financiado parcialmente por el Proyecto DIGCYT PB94-1450.

1. Facultad de Física. Universidad de Sevilla. Apartado 1065, 41080 Sevilla.

2. Departamento de Prehistoria y Arqueología. Universidad de Sevilla.

3. Departamento de Física del I.T.N., E.N. 10, 2685 Sacavem, Portugal.

4. Departamento de Física Aplicada. E.S. de Ingenieros. Camino de los Descubrimientos, s/n. 41092 Sevilla

INTRODUCCIÓN

Dentro de la línea de la investigación interdisciplinar que se está llevando a cabo para el estudio de la actividad metalúrgica prehistórica en el Suroeste de la Península Ibérica, se dieron a conocer recientemente los resultados de la investigación de un tipo concreto de subproducto, la denominada escoria de sílice libre (FERNÁNDEZ *et al.*). En función de los datos analíticos obtenidos, fueron establecidas una serie de interpretaciones sobre los distintos elementos que habían intervenido en el proceso extractivo, llegándose a una serie de conclusiones:

En general, se determinó que las escorias de sílice libre estaban relacionadas con la metalurgia extractiva de la plata a partir de minerales de tipo jarosítico (en algunos casos también polimetálicos). Cronológicamente estas actividades se situaban en momentos orientalizantes (a partir del siglo VIII a.C.).

Respecto a la interpretación de los elementos concretos que componían la escoria también se establecieron conclusiones. Una de las que se consideraron de mayor interés fue la interpretación del bario presente en la escoria como una adición intencionada a la carga del horno, ya que no se había detectado en los minerales argentíferos analizados. Esto conllevaba toda una serie de implicaciones arqueológicas, por ejemplo, la prospección, minería y distribución de los minerales de Ba (FERNÁNDEZ *et al.*).

PLANTEAMIENTO Y MUESTRAS ANALIZADAS

La heterogeneidad de la proporción de Ba en la escoria, a la que pasaría casi toda dada la afinidad por esa fase (HOFMAN, 1913: 103), nos hizo plantearnos la necesidad de establecer analíticamente la relación entre los minerales utilizados y los subproductos obtenidos.

El coto minero de Aznalcóllar ofrecía las mejores posibilidades para ello. Por un lado, se habían recogido muestras de minerales de tipo jarosítico, de escorias de sílice libre y del producto final obtenido, plata metálica (en forma de lo que fue considerado un fragmento de lingote, fotografía 1), en el poblado amurallado de Castrejones (fotografía 2). Además, este yacimiento arqueológico se localiza en las inmediaciones de los afloramientos minerales y tendría una cronología amplia pero limitada al momento cultural orientalizante (HUNT ORTIZ, 1993).

Por otro lado, la inspección arqueológica de las áreas de minería antigua aún preservadas a poniente de la corta a cielo abierto de Aznalcóllar, evidenció una explotación amplia (en las partes oxidadas de los depósitos de sulfuros complejos) de este mineral argentífero de tipo jarosítico (fotografía 3).

Esta constatación permitió establecer la relación directa entre los minerales jarosíticos de la mina de Aznalcóllar con los recogidos en el inmediato poblado amurallado de Castrejones, del que se obtuvo un total de casi 1.5 kg. de este mineral (HUNT ORTIZ, 1994). Para este proyecto se seleccionaron 4 muestras.

Además, se ha contado en este trabajo con muestras de escoria de sílice libre de otro yacimiento, Cerro de la Matanza, situado a unos kilómetros de distancia de Aznalcóllar, que muestra ocupación, asimismo, en el período orientalizante (PÉREZ MACÍAS, 1996:149).

Las muestras seleccionadas para ser sometidas a análisis (apareciendo entre paréntesis la referencia analítica) han sido las siguientes:

- * (ESCOR. CMA y CMB) Fragmento de escoria de sílice libre de Cerro de la Matanza (Escacena del Campo, Huelva).
- * (MIN6) Castrejones. Mineral rojo, con predominio de óxidos de hierro.
- * (MINF) Castrejones. Mineral con predominio de óxidos de hierro, de color rojo-pardo y aspecto polvoriento.
- * (MIN11) Castrejones. Fragmento de mineral rojo. Predominio de óxidos de hierro.
- * (MIN5) Castrejones. Fragmento de mineral rojo-pardo. Predominio de óxidos de hierro.
- * (AZ1) Castrejones. Fragmento de lingote de plata.

MÉTODO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

Para realizar el análisis multielemental se ha empleado la técnica de PIXE. Los pasos seguidos fueron:

- a) Para las muestras de escorias y minerales:
 - Se tomó un fragmento representativo de cada uno y se pasó a pulverizar en molinillo de bolas de ágata.
 - El polvo obtenido fue compactado en forma de pastillas sobre ácido bórico utilizando una prensa.
 - Estas pastillas fueron introducidas en la cámara de *scattering* para ser bombardeadas.
- b) Para el lingote:
 - Se introdujo directamente en la cámara de *scattering*. Una pequeña superficie del lingote fue previamente pulida.

Los espectros obtenidos fueron procesados mediante el programa GUPIX (J. A. CAMPBELL *et al*, 1989) para obtener de él las concentraciones de los elementos presentes en cada muestra.

En las condiciones experimentales utilizadas en estos análisis por el método de PIXE, la plata sólo puede observarse mediante las líneas L del espectro. En el caso de los lingotes con alto contenido en plata esto no presenta ningún problema. Sin embargo, las demás muestras presentan trazas de plata junto con contenidos importantes de plomo. El hecho de que las líneas L de la plata coincidan con las relativamente intensas líneas M del plomo, hace difícil e imprecisa la cuantificación de las concentraciones de plata a partir de la intensidad de aquellas líneas.

En estos casos hemos acudido a completar el análisis mediante la técnica de XRF con dispersión en energía, utilizando una fuente radiactiva anular de ^{241}Am . En estas condiciones, en los espectros, recogidos a través de un detector de Si(Li), podemos observar las líneas K de la plata que no son interferidas por otras líneas del espectro, estando además situadas en una zona de gran eficiencia. Dado que ya hemos obtenido por PIXE la concentración de todos los componentes principales (matriz), conocemos los coeficientes de absorción de cada muestra tanto para la radiación excitante como para la radiación de fluorescencia. De este modo, utilizando un patrón de composición certificada, la comparación de las intensidades de las líneas K-alfa de la plata en el patrón y la muestra problema, junto con el conocimiento de los coeficientes de absorción, nos permitirán conocer la concentración de la plata en dicha muestra. Utilizamos el programa AXIL (P. VAN ESPEN *et al.*, 1988) para el ajuste de los espectros obtenidos.

La tabla 1 muestra los resultados de los análisis realizados.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La composición elemental de la nueva muestra de escoria de sílice libre analizada, procedente de Cerro de la Matanza, permite su inclusión dentro de las escorias de producción metalúrgica de plata y más concretamente dentro del grupo compositivo característico que ha sido definido para la escoria de sílice libre (FERNÁNDEZ *et al.*). Así, los análisis muestran la presencia en la escoria de cantidades apreciables de plomo (1.5 y 1.9%) y bario (casi 1%), algo de plata (500 ppm), muy escaso cobre (en este caso no detectado) y elevadas proporciones de hierro y silicio.

Los minerales analizados son todos, visualmente, de tipo gossan en los que predominan netamente los óxidos de hierro, que les confieren un color rojo intenso. No fue detectado ningún atributo específico que permitiera establecer una posible relación entre la apariencia externa y la composición.

Los resultados muestran que el hierro es el componente principal, en general con más del 50%, pero los demás elementos muestran una fuerte variación: el silicio varía entre 1.7 y 6.2%.

El cobre se presenta en proporciones siempre bajas, aunque variables: en sólo un caso está por encima del 1% (1.2%), mientras en las restantes muestras no supera el 0.3%.

Respecto al plomo, la cantidad presente en los minerales, también muy heterogénea, en sólo un caso supera el 3% (3.2%) y en otro, la muestra mineral de menor contenido, sólo llega al 0.2%.

También es muy poco homogéneo el contenido de plata. No fue detectada en una de las muestras, sin embargo en otra muestra mineral el contenido de Ag superaba el 0.7%, lo que da idea de la riqueza del mineral usado en esos momentos. No hay proporcionalidad entre el contenido de Ag y de Pb.

Uno de los elementos que, como se ha comentado, más interés suscitaban era el bario. En las muestras minerales analizadas de Aznalcóllar este elemento

está presente (aunque en trabajos mineralógicos no había sido mencionada su existencia en Aznalcóllar (SIERRA, 1984)), también en proporciones muy irregulares.

En dos muestras sólo se detectaron centésimas de %, en otra 3.2% y en el último caso la proporción de bario llegaba al 8%.

El lingote de plata analizado (fotografía 1) mostró una composición diferente según fuese analizada su parte exterior afectada por la corrosión o el interior «sano». Esto sucede en ciertos elementos minoritarios que:

- Aumentan o aparecen en la superficie (Al, Si, P, Ca, Ti, Fe).
- Disminuyen en superficie (Cu), o
- No son detectados en la superficie (Sb), mientras en la fase metálica interior están bien representados.

Respecto a los componentes mayoritarios:

- La proporción de plata se reduce considerablemente en la capa de corrosión superficial.
- El contenido proporcional de plomo se ve incrementado en la capa superficial.

Hay dos factores principales que contribuyen a esa disparidad de composición. Por una parte, la contaminación de la superficie por elementos del contexto en el que estuvo depositado el objeto y, por otra parte, el distinto grado de resistencia que los distintos elementos muestran ante los agentes corrosivos (PEIXOTO CABRAL y ARAUJO, 1983).

Lo que ahora interesa, tecnológicamente, es que el objeto está constituido por una plata bruta, sin refinar o, más técnicamente, sin copelar, con sólo el 0.5% de cobre y más del 16% de plomo.

CONCLUSIONES

Las conclusiones que se pueden obtener de los resultados analíticos complementan y, respecto a elementos concretos, en algún caso modifican las obtenidas en trabajos anteriores.

Las escorias de sílice libre siguen mostrando, sistemáticamente, una composición típica que las relaciona con la metalurgia extractiva de la plata y con la utilización de plomo como colector.

Las proporciones heterogéneas de bario detectadas en los minerales argentíferos de Aznalcóllar, en contra de lo sugerido por otros autores (KASSIANIDOU, 1992) y por nosotros mismos con anterioridad (FERNÁNDEZ *et al.*), explican las proporciones variables detectadas en las escorias. Es decir, la heterogeneidad en bario en el mineral sería la causa de su proporción tan variada en la escoria.

Por otra parte, esa misma presencia de bario en la escoria valida la hipótesis de la utilización de minerales de tipo jarosítico en la metalurgia de la plata.

El uso de este tipo de mineral como materia prima también estaría reflejada en las bajas proporciones de Cu que, como se aprecia en el contenido del lingote, tendría mayor afinidad por la fase metálica del Pb/Ag que por la escoria.

Los contenidos en plomo detectados en los minerales (media de 2% Pb), no serían suficientes, al menos para el caso de Aznalcóllar, para el desarrollo de los procesos extractivos de la plata.

Las altas proporciones de plomo necesarias quedan evidenciadas en la composición de la plata bruta. Así, sería necesario añadir plomo, de origen foráneo, a la carga del horno, lo que implica una infraestructura de captación de recursos compleja.

Mientras el hierro está en altas proporciones en el mineral beneficiado, el silicio está en proporciones muy bajas (sólo c. 3% de Si de media) en comparación con la cantidad detectada en las escorias.

Al igual que con el plomo, el silicio, en forma de cuarzo (abundante en filones aflorantes en toda el área), debió ser añadido a la carga del horno. Una vez formada la escoria, más cuarzo sería añadido, que corresponde a los fragmentos de sílice libre que dan el aspecto tan específico a la escoria.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al I.T.N. de Sacavem, Lisboa por los medios que puso a nuestra disposición.

Queremos hacer constar nuestro especial agradecimiento a J.E. Martín por su colaboración en el presente trabajo, en especial en lo que respecta a la adquisición de espectros en el acelerador del I.T.N.

BIBLIOGRAFÍA

- FERNÁNDEZ, M.; RESPALDIZA, M. A.; HUNT, M.; HURTADO, V. y DA SILVA, M. F. Análisis multielemental de escorias de sílice libre mediante técnicas nucleares. *Actas del I Congreso Nacional de Arqueometría*. Granada, 12-14 junio 1995. En prensa.
- HOFMAN, H. O.
(1913) *General Metalurgy*. McGraw-Hill.
- HUNT, M. A.
(1993) *Aznalcóllar, Fase I: Prospección Arqueológica Superficial*. Febrero. Sin Publicar.
- A (1994) Minería y Metalurgia Prerromanas en Aznalcóllar. *Revista de Arqueología*, 158: 36-41.
- KASSIANIDOU, V.
(1992) *Monte Romero (Huelva), a Silver Producing Workshop of the Tartesian Period in SW Spain*. Tesis Doctoral, Universidad de Londres. Inédita.

PEIXOTO CABRAL, J. M. y ARAUJO, M. F.

(1983) Análise duma espiral metálica por espectrometria de raios X. Relação da sua composição com a matéria-prima usada na sua manufactura. *Arqueología*, 7(3): 39-43.

PÉREZ MACÍAS, J. A.

(1996) *Metalurgia extractiva prerromana en Huelva*. Universidad de Huelva. Servicio de Publicaciones.

SIERRA, J.

(1984) Geología, Mineralogía y Metalogenia del yacimiento de Aznalcóllar. *Boletín Geológico y Minero*, Tomo 95, Fascículo VI, Nov.-Dic., 39-54.

MAXWELL, J. A.; CAMPBELL, J. L. y TEEDSDALE, W. J.

(1989) *Nucl. Intr. and Meth.* B43, 218.

VAN ESPEN, P.; JANSSENS, K. and SWENTERS, I.

(1988) *Axil X-Ray Analysis Software. User's Manual*. Cambera Packard.

Tabla 1. Composición de las muestras analizadas en tanto por ciento (excepto las indicadas como ppm)

	LINGOTE PULIDO	LINGOTE SIN PULIR	MIN6	MIN5	MIN11	MIN F	ESCOR. CMA	ESCOR. CMB
Al	—	0,53(5)	0,41(4)	1,21(12)	0,48(5)	0,98(9)	0,54(5)	0,51(5)
Si	0,21(2)	1,05(11)	6,2(4)	1,73(15)	2,02(17)	2,49(18)	22,3(12)	23,6(13)
P	0,178(18)	2,6(3)	0,09(2)	0,9(2)	0,036(6)	0,041(6)	—	0,017(4)
S	—	—	0,08(2)	0,23(2)	1,54(16)	0,98(9)	—	—
K	—	—	0,196(19)	0,145(19)	0,069(7)	0,103(12)	0,26(2)	0,25(2)
Ca	—	4,7(3)	1,16(8)	0,14(2)	0,11(2)	0,31(2)	1,87(11)	1,92(12)
Fe	—	0,23(2)	41,5(18)	58,1(16)	542,2(16)	54,1(16)	18,2(8)	17,1(7)
Cu	0,56(6)	0,39(4)	0,25(3)	0,33(3)	1,27(13)	0,31(4)	—	—
As	—	—	9,5(4)	0,95(8)	1,1(2)	0,26(3)	—	—
Ag	81(4)	49(2)	—	ppm 170(30)	ppm 400(60)	ppm 7000(300)	ppm 400(50)	ppm 450(60)
Ba	—	—	0,061(9)	0,041(8)	8,1(6)	3,27(19)	1,21(9)	1,24(9)
Pb	16,9(17)	23,5(18)	0,22(2)	3,2(3)	2,8(2)	1,91(19)	1,54(16)	1,42(15)

Las muestras MIN6, MIN5, MIN11 y MINF corresponden a minerales.

Las muestras ESCOR. CMA y ESCOR. CMB corresponden a escorias de sflice libre.

Las composiciones están determinadas por PIXE excepto las cantidades de plata en minerales y escorias, determinadas por XRF

La(s) cifra(s) entre paréntesis corresponde(n) al error absoluto que afecta a la última(s) cifra(s) del valor de la concentración que le precede.



Foto 1. Fragmento de lingote de plata sin refinar procedente del yacimiento arqueológico orientalizante de Castejones (Aznalcóllar, Sevilla).

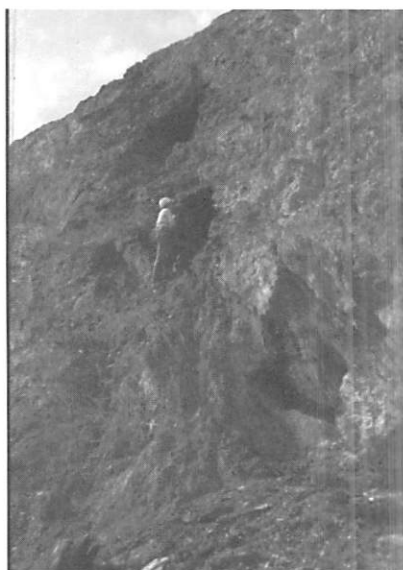


Foto 2. Restos de minería prehistórica seccionados por la corta minera actual de Aznalcóllar (Sevilla).



Foto 3. Vista aérea del yacimiento arqueológico de Castejones (Aznalcóllar, Sevilla).

ESTUDIO ANALÍTICO Y METALOGRÁFICO DE SIERRAS METÁLICAS DE LOS INICIOS DE LA METALURGIA EN ANDALUCÍA OCCIDENTAL

por

María José FELIU¹, María LAZARICH²
y Joaquín MARTÍN CALLEJA¹

RESUMEN

Se ha realizado la caracterización analítica y metalográfica de dos sierras metálicas de la época calcolítica. Para el análisis de componentes y el estudio morfológico se ha utilizado la técnica SEM con sistema acoplado de EDS. Para el estudio metalográfico se ha procedido a la preparación de una probeta metalográfica mediante la inclusión, en resina sintética, de un fragmento del borde de la sierra y después de un ataque ácido, se ha estudiado la estructura metalográfica mediante Microscopía Óptica.

Las sierras metálicas prehistóricas son útiles muy simples fabricados en cobre, en una sola pieza en la que se distinguen dos partes, la hoja y el mango que se engarzaba en la empuñadura. La hoja puede tener forma rectangular, trapezoidal o bien en forma de D, con los ángulos redondeados. En uno de sus lados presentan una hilera de dientes de forma triangular de espaciados diversos. Suelen ser de pocos milímetros de espesor (1-2) y su longitud máxima oscila entre 70 mm y 225 mm y su anchura entre 12 y 38 mm. La lengüeta o mango puede ser de forma trapezoidal o triangular.

Los datos registrados de las sierras prehistóricas halladas en Andalucía occidental son escasos, lo que constituye un problema para valorar la función contextual de estos productos. Muchas de ellas parecen proceder de ámbitos domésticos y otras se han localizado formando parte de ajuares funerarios. Parece ser que fueron utilizadas en tareas domésticas o de producción, en princi-

1. Departamento de Química Física. Universidad de Cádiz.

2. Departamento de Prehistoria. Universidad de Cádiz.

pio, sustituyendo a los utensilios de piedra en el trabajo de la madera (Semenov, 1971).

Las piezas que hemos utilizado para nuestro estudio fueron halladas en el término municipal de Lebrija y se relacionan con elementos del horizonte campaniforme, en el Calcolítico pleno-final (Lazarich, Feliu, Martín). Además de la caracterización morfológica y métrica hemos realizado la caracterización química y metalográfica. Los dos primeros aspectos han podido ser contrastados con los datos de otras sierras halladas también en Andalucía occidental pero sólo de algunas se tienen datos sobre su composición química y no hay datos sobre su estructura cristalina por lo que no hemos podido hacer una comparación adecuada. En los casos en que se ha efectuado análisis químico, se ha detectado cobre con un 1,8% de arsénico (análisis mediante AAS) en una sierra hallada en Niebla depositada en el British Museum de Londres (n.º de reg 8-1.3.) fechada entre 1500-1000 a.C. (Harrison *et al.*, 1976; Lazarich, 1987), en otra hallada en la Cueva del Higueral (Jerez de la Frontera, Cádiz), y en un cuchillo-sierra en El Jadramil (Arcos de la Frontera, Cádiz) que han sido analizadas mediante XRF y figura un 0,54% de arsénico la primera y un 0,40% la segunda pieza fechadas en el calcolítico final (Rovira, 1994). Aunque la cuantificación que ofrecen las distintas técnicas a las que nos referimos no es comparable, lo que sí podemos es distinguir cobres con algo de arsénico.

Andalucía occidental es zona de riqueza minera. Los afloramientos de mineral de cobre como óxidos y carbonatos existentes en todo el cinturón piritífero de las provincias de Huelva, Sevilla y Córdoba pudieron ser explotados desde la prehistoria y se tienen indicios de práctica metalúrgica que pueden ser fechados con seguridad hacia mediados del III milenio a.C. a partir de los datos aportados por las excavaciones de Valencina de la Concepción en Sevilla (Ruiz Mata, 1983) en los que se han hallado algunos instrumentos de metal presumiblemente fabricados *in situ*. Ya Cerdán y Leisner afirmaron que las primeras inferencias sobre el aprovechamiento metalúrgico del cobre en el suroeste correspondían a las poblaciones megalíticas asentadas en el Andévalo a lo largo del III milenio a.C. hipótesis puesta hoy en día en cuestión al comprobarse la existencia de un poblamiento anterior en la zona (Cano y Vera, 1988; Nocete *et alii*, 1992). La producción de cobre está claramente probada en ambientes calcolíticos como en el poblado de El Amarguillo (El Coronil, Sevilla) (Cabrero, 1990), en el de Sao Bras con restos de materiales metalúrgicos entre los que destaca un fragmento de crisol con cobre, hierro y arsénico, así como puntas de flecha de cobre arseniado (Parreira, 1983). En la base de datos del Proyecto de Investigación Arqueometalúrgica de la Península Ibérica (Rovira y Montero, 1994) hay información analítica sobre la que se puede hacer referencia para Andalucía occidental.

El proceso de extracción del cobre a partir de sus minerales no es sencillo si el resultado debe ser cobre de suficiente pureza para fabricar objetos, teniendo un mínimo rendimiento en el proceso. Debí comenzar con la utilización de cobre nativo y le siguió la utilización de minerales de cobre de aflora-

mientos superficiales como carbonatos y óxidos (malaquita, azurita, cuprita), cuyo tratamiento debió fácilmente descubrirse en hornos para cocer cerámicas. Estas menas oxidadas y carbonadas podían reducirse en hornos y crisoles en atmósfera reductora en presencia de carbono proveniente de combustión de madera o de carbón. La temperatura necesaria de 800° se obtiene fácilmente en un fuego de leña. Puesto que la temperatura de fusión del cobre es de 1.054 °C el cobre que se obtenía sólo era una masa esponjosa mezclada con escorias y cenizas y, por el volumen de los crisoles, sólo utilizable para pequeños objetos. Con este proceso serían simultáneos la eliminación de otros óxidos presentes como los de hierro, arsénico o antimonio frecuentes en los minerales de esta zona.

Mucho más tardío debió ser el uso de menas sulfuradas, como la calcopirita, que se encontraron siguiendo hacia el interior las zonas de mineralización. El tratamiento es complejo. La mena se tuesta (calentamiento en presencia de aire) para desprender el exceso de azufre. En este proceso se eliminan parte de las impurezas del mineral. Después se calienta (800°) con carbón, mezclados con fundentes silíceos para conseguir la mata fundida compuesta por sulfuro cuproso compuestos de hierro y resto de impurezas. A través de la mata fundida (50% de cobre) se sopla aire formándose óxidos de hierro que pasan a la escoria y el sulfuro cuproso que pasa a óxido cúprico. El proceso se interrumpe para dejar una proporción adecuada de sulfuros y óxidos de cobre que reaccionan entre sí para dar un cobre de elevada pureza, liberándose óxidos de azufre. Todos estos procesos se conocían en la antigüedad pero, en las primeras utilizaciones de menas sulfuradas, es muy probable que los minerales sulfurados no fueran previamente tostados y ello explica la presencia de arsénico en los cobres más antiguos obtenidos a partir de menas sulfuradas. Tostado y reducción se habrían hecho en una sola operación, mezclando el mineral con el carbón, la reacción completa de eliminación de azufre y reducción del cobre, alcanza 1.100 °C pero comienza a 450 °C temperatura fácilmente obtenible en fuego de campo (Ramin, p. 142).

No tenemos referencia clara de cuándo se comenzaron a utilizar las menas sulfuradas que tienen muchos componentes de otros sulfuros como por ejemplo arsénico (Blanco y Rothenberg, 1981). Tal vez ello podría darnos una interpretación sobre la presencia de arsénico en muchos objetos de cobre y aportar datos sobre la intencionalidad de una aleación cobre-arsénico.

En ambientes de calcolítico final campaniforme, los crisoles dan indicios de arsénico y los de los inicios del calcolítico no. Es probable que los minerales de cobre que se empezaron a utilizar fueran carbonatos superficiales en los que no hay arsénico y a medida que la minería se vio obligada a penetrar en zonas no oxidadas, la proporción de arsénico hubiera aumentado. La utilización intencionada de otros minerales de arsénico como fundentes o como materia prima (arsenopiritas) es otra de las posibilidades de explicación a la aparición de arsénico en los crisoles. Un mineral como la arsenopirita con casi un 40% de arsénico pudo utilizarse como fundente y no como materia prima. Monge Soares (en Pérez Macías, 1996, p. 39) propone la utilización esporádi-

ca de cobre nativo en Neolítico final; cobre obtenido por reducción de óxidos y carbonatos durante el calcolítico precampaniforme y la aparición de cobre arsenical en el calcolítico campaniforme. En el calcolítico pleno se han encontrado objetos de cobre arsenical y de cobre sin arsénico.

No es probable que conocieran la razón de las propiedades del cobre arsenical, sino simplemente que el cobre obtenido a partir de minerales de determinada zona o por determinados procesos era más duro y resistente. La intencionalidad pudo estar en la utilización de unos minerales u otros, pero no en una aleación de cobre con arsénico. Sin embargo, otros autores defienden la utilización de una aleación intencionada de cobre-arsénico que ocupó la banda temporal entre el cobre y el bronce (Mohen; p. 99; Knauth, p. 55).

Podríamos distinguir los orígenes de los objetos de cobre a partir de sus impurezas si no fuera porque las primeras masas metálicas obtenidas debieron ser refundidas para su afino con la necesaria incorporación de fundentes y con la obtención de temperaturas elevadas que provocarían el desprendimiento en forma de óxidos de los metales que formarían óxidos volátiles (As, Sb) y la incorporación a las escorias de metales como Fe, Zn, etc. (Calvo, 1968; Rovira, 1990). Existen pruebas suficientes de la utilización de hornos para fusión de cobre en épocas prehistóricas aunque en otros lugares (Mohen, pp. 53, 73).

Según Rovira (1988, 1990) no se puede afirmar la intencionalidad de una aleación de arsénico, ni se puede conocer el origen de un metal por sus componentes minoritarios actuales. Teniendo en cuenta que los procesos térmicos de afinado, recocido y refundiciones provocan la pérdida de óxidos volátiles entre ellos el arsénico, los datos analíticos sobre la presencia de pequeñas cantidades de este metal poco pueden aportar a la caracterización del metal en su origen.

Además de las sucesivas refundiciones que pudieron sufrir los objetos metálicos, durante su utilización o enterramiento han podido sufrir procesos químicos en su interacción con el entorno. Los procesos de oxidación son selectivos y los metales más fácilmente oxidables formarán compuestos con mayor facilidad que, al ocupar mayor volumen producirán corrosiones, que alterarán la pieza y evidentemente se modificará la composición de la masa metálica. Así pues, del análisis actual de los componentes no se pueden deducir sus orígenes pero siempre se puede obtener algún dato para su caracterización.

El estudio realizado en estas dos piezas supone la aportación de unos datos que pueden ayudar a la caracterización de piezas metálicas de esta época y al conocimiento de los procesos metalúrgicos seguidos, pero en ningún momento podemos pretender ser concluyentes, por las razones antes aducidas y porque dos piezas no es número suficiente para apoyar o negar hipótesis.

La sierra n.º 1 (figura 1) fue localizada en el término municipal de Lebrija. Carecemos de detalles precisos sobre el lugar del hallazgo así como de otros objetos que la pudieran acompañar. Es un fragmento de hoja rectangular, delgada y flexible. Conserva parte de la lengüeta de empuñadura con dos amplias escotaduras para facilitar su unión al mango y 23 dientes de pequeño tamaño, muy unidos entre sí y muy desgastados por uso. Las medidas se refie-

ren a las partes conservadas; espesor máx. 1,2 mm, anchura máx. 22 mm y longitud máx. 91 mm. Peso 7,43 g.

La sierra n.º 2 (figura 2) fue encontrada en el lugar «Los Camachos» junto con un puñal de lengüeta y fragmentos de platos de bordes engrosados. El yacimiento se dató como Calcolítico pleno final. Está fracturada en tres partes que unidas forman el objeto casi completo, pues sólo falta una pequeña porción de la zona superior de la hoja y del área inferior de la espiga de empuñadura. Es una hoja rectangular recta y el mango o espiga es una prolongación de la hoja pero con más grosor. No presenta escotaduras sino leves melladuras para facilitar su sujeción al mango. Tiene 43 dientes finos y angulosos muy desgastados. El grosor de la hoja es menor en el lado dentado por lo que presenta sección casi triangular. Anchura máx. 24 mm, largo máx. 221 mm, espesor 2 mm. Peso 38,95.

Para el análisis micromorfológico hemos utilizado la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido y para el análisis químico la Espectroscopía de Energía Dispersiva de rayos X. En un primer momento las piezas se estudiaron enteras ya que su tamaño permite la colocación dentro de la cámara de muestras del Microscopio, y sin otra preparación que una limpieza con disolventes de productos orgánicos que puedan contaminar la cámara de muestras. La observación de la superficie permitió la determinación de los componentes de la pátina, relativamente escasa, formada por óxidos y carbonatos de cobre y una pequeña cantidad de cloruros de cobre en la sierra n.º 1, en cambio la sierra n.º 2 (figura 3) tiene una pátina con elevada cantidad de cloruros de cobre y también, aunque en menor proporción, de óxidos y carbonatos de cobre. Estas sales son producto de la oxidación del metal y el hecho de que formen compuestos diferentes supone un entorno de conservación distinto en cada pieza. Las pátinas de elevada proporción en cloruros son de color azul verdoso y suponen un entorno de ambiente salino, mientras que los carbonatos y óxidos son producto de interacción con un entorno no salino. La superficie de la pieza n.º 2 presenta además, numerosas zonas en que la presencia de silicatos es elevada, presencia típica de piezas que han estado enterradas. No conocemos las posibles limpiezas a que se han sometido las piezas antes de llegar a nuestras manos por lo que poco más podemos deducir de la pátina que actualmente presentan.

Desde la observación de la superficie a pequeños aumentos, es decir, de zonas grandes, a la observación a grandes aumentos, es decir de zonas muy pequeñas, el estudio de la superficie ha sido morfológicamente completo y poco más nos ha aportado a lo ya indicado, pero la posibilidad de fijar el haz de electrones primarios en zonas muy pequeñas, carentes de pátina y en pequeñas grietas nos proporciona información sobre la composición de la masa metálica. En ambas piezas el resultado ha sido únicamente cobre en todos los puntos ensayados (figura 4).

Obtuvimos una porción muy pequeña de cada pieza y las incluimos en resina de polimerizado en frío para efectuar la preparación metalográfica. La extracción se hizo de forma que no se pudiera detectar con posterioridad: en el

extremo del vástago en la pieza n.º 1 y en el borde de uno de los fragmentos de la pieza n.º 2. Tal vez no sean las zonas más representativas de la situación de toda la pieza. Una vez pulido el corte metálico, el análisis EDS nos confirmó que la masa metálica de ambas piezas era fundamentalmente cobre, sin embargo, mediante el modo de observación de electrones dispersados (BSE) pudimos detectar pequeños glóbulos de composición distinta: Glóbulos óxidos de cobre, numerosos en la pieza n.º 1, (figura 5) y escasos en la pieza n.º 2. En la pieza n.º 1 sólo un glóbulo de 21,23% de arsénico y 79,78% de cobre ambos en forma de óxidos (figura 6). En la pieza n.º 2, algunos glóbulos de sulfuro de estaño.

Los glóbulos de óxido de cobre deben corresponder a las burbujas de aire que quedan siempre atrapadas en el cobre fundido (Calvo, 1968, p. 8; Ramin, 1977, p. 145; Tylecote, 1987 p. 93). El cobre en estado líquido retiene mucho oxígeno que, si no es eliminado, hace poco dúctil al metal. Para quitarlo se bate la masa fundida con palos de madera verde de encina. Este procedimiento de eliminación de las burbujas de aire se aplicó en época romana y no hay indicios de que se hiciera antes.

En las zonas externas del corte, correspondientes a la superficie de la pieza, se observan las zonas de corrosión con los mismos compuestos que se observaron en la superficie de las piezas penetrando en caminos preferentes que corresponden a las bandas de trabajo en frío.

Los glóbulos o poros detectados en ambas piezas tienen una morfología más redonda en la zona más interna y se alargan en la zona más externa de la pieza, si bien, en la pieza n.º 1 el efecto es menor.

Después de esta observación se procedió al ataque ácido (FeCl_3/HCl) de las superficies pulidas para poner de manifiesto la posible estructura cristalina y los indicios de trabajo sobre el metal. Se observan bandas de un fuerte trabajo en frío que deforma la masa metálica tanto más cuanto más cerca se observa del borde de la muestra produciendo estructuras fibrosas (figura 8). Esta situación aumenta la dureza del metal pero lo hace más frágil. Ya que las muestras se tomaron en zonas de los dientes o del mango, es posible que la intencionalidad del trabajo fuera encaminada a dar la forma que debería tener. Pudo ser una pieza formada en un molde a la que se modificaron algunas partes mediante el martilleo en frío. No se detectan estructuras cristalinas de recocido. Estas observaciones concuerdan con los datos aportados por Rovira (Rovira, 1988) sobre los estudios metalográficos en puntas de flecha en las que se observa trabajo en frío en las más antiguas y el recocido en las que pertenecen al Bronce Medio.

Por el contexto de las piezas, suponíamos *a priori*, que debía tratarse de un cobre arsenical. Esperábamos encontrar mayor número de impurezas de arsénico en el interior de ambas piezas, según los datos aportados por la bibliografía (Pérez Macías, 1966; Ramin, 1977; Rovira, 1988, 1990, 1994; Mohen, 1960). Sin embargo, la ausencia de arsénico tanto en la superficie como en el interior (sólo un indicio en la n.º 1) no confirma ni niega la presencia de cobres arsenicales en esta zona y en esta época ya que, en el caso de haberlo te-

nido inicialmente, ha podido desaparecer con sucesivas refundiciones. Las señales de la presencia de burbujas de aire indica que el metal ha sido sometido a un proceso de fusión. La metalografía revela estructuras de deformación en frío y no hay estructuras de recocido, por lo tanto el trabajo sobre el metal no ha podido ser responsable de la pérdida del arsénico. O bien los minerales iniciales no tenían compuestos de arsénico, o bien el cobre sufrió refundiciones sucesivas.

Nos inclinamos a pensar que el metal proviene de un mineral ya inicialmente con escasas impurezas puesto que otros estudios (Rovira, 1994, 1988) han mostrado análisis de cobre arsenical, teniendo indicios de ambos procesos de refundición y recocido. Tal vez el uso al que estaban destinados estos objetos no necesitaba un cobre de gran dureza, al menos inferior al que se utilizaba para fabricar puntas de lanza, y utilizaron para fabricar estas sierras uno distinto del que les daba buenos resultados para las puntas sin saber, realmente, que la razón de la calidad podía ser la presencia de arsénico. La presencia de azufre en el interior de la pieza n.º 2 parece indicar la utilización de menas sulfuradas pero la cantidad detectada no pasa de ser un indicio.

BIBLIOGRAFÍA

- BLANCO, A. y ROTHENBER, G. B.
(1981) *Exploración Arqueometalúrgica de Huelva*. Río Tinto Minera. Labor. Madrid.
- BLASCO, C. y ROVIRA, S.
(1993) *La Metalurgia del cobre y del bronce en la región de Madrid*. Tabona VIII. Tomo II. Universidad de La Laguna.
- CABRERO, R.
(1990) El Poblado de la Edad del Cobre denominado «El Amarguillo» II (Los Molares, Sevilla). Informe preliminar tras la excavación sistemática de 1987. *Anuario Arqueológico de Andalucía*. 1987 II. pp. 276-277
- CALVO, F. A.
(1964) *La España de los Metales*. Patronato «Juan de la Cierva». Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Madrid.
- CERDÁN, C. y LEISNER, G.
(1952) Sepulcros Megalíticos de Huelva. *Informes y memorias de la Comisaría General de Excavaciones Arqueológicas*, 26. Madrid.
- HARRISON, R. J.; CRADDOCK, P. I.; HUGHES, J. M.
(1976) A Study of the Bronze Metal Age metalwork from the Iberian peninsula in the British Museum. *Ampurias* 43. Barcelona.
- KANUTH, P.
(1975) *El descubrimiento de los metales*. Time-Life. Nederland.

LAZARICH, M.

(1987) *Aportación a los inicios de la Metalurgia en el Mediodía Peninsular: El bajo Guadalquivir*. Universidad de Cádiz.

LAZARICH, M.; MARTÍN CALLEJA, J.; FELIU, M. J.

Contribución al conocimiento de los Inicios de la Metalurgia en Andalucía Occidental: Las Sierras. Gades. (En prensa). Cádiz.

MOHEN, J. P.

(1960) *Métallurgie Préhistorique*. Masson. Paris

NOCETE et alii.

(1991-92) *Proyecto Odiel. Un año después*. A.N.E.

PÉREZ MACÍAS, J. A.

(1996) *Metalurgia Extractiva Prerromana en Huelva*. Universidad de Huelva.

RAMIN, J.

(1977) *La technique minière et métallurgique des Anciens*. LATOMUS Vol. 153. Brusellas, pp. 138-45

ROVIRA, S.; MONTERO, I.; CONSUEGRA, S.

(1988) Archaeometallurgical study of palmela arrow heads and other related types. *Atti del Colloqui Internazionale di archeometallurgia*. Bolonia 1988

ROVIRA, S.

(1990) Técnicas de Investigación Arqueometalúrgica. *Ciencias y Técnicas al Servicio de la Investigación Arqueológica*. Fundación «F. Giner de Los Ríos».

ROVIRA, S. y MONTERO, I.

(1994) Metales Prehistóricos del entorno Gaditano. *Aproximación a la Prehistoria de San Fernando*. Autores: Ramos, Sáez, Castañeda, Pérez. Ayuntamiento de San Fernando Cádiz. Cap. 13

RUÍZ MATA, D.

(1983) El Yacimiento de la Edad del Bronce de Valencina de la Concepción (Sevilla) en el marco cultural del Bajo Guadalquivir. *Actas del I Congreso de Historia de Andalucía: Prehistoria y Arqueología*. Córdoba, p. 188.

SEMENOV, S. A.

(1971) *Tecnología Prehistórica*. Ed. Akal. Madrid.

TYLECOTE, R. F.

(1987) *The early history of metallurgy in Europe*. Longman. London.

ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO Y POR FLUORESCENCIA DE RAYOS-X DE ORNAMENTOS DE PLATA PROCEDENTES DE POBLADOS IBÉRICOS VALENCIANOS (siglos IV-III a.C.)

por

José L. FERRERO¹, Clodoaldo ROLDÁN^{1,2} y Consuelo MATA³

RESUMEN

Técnicas no destructivas como la gravimetría y la fluorescencia de rayos-X (XRF) han sido aplicadas al análisis de objetos de plata procedentes de excavaciones arqueológicas del Levante peninsular. Los resultados obtenidos aportan información sobre el contenido en plata y otros metales de dichos objetos, lo que permite una primera aproximación al conocimiento de su metalurgia en la Península Ibérica, de su procedencia y de las alteraciones posdeposicionales sufridas hasta su excavación.

Los análisis gravimétricos se han realizado mediante una balanza hidrostática de alta precisión y los análisis de XRF mediante un equipo integrado por un tubo emisor de rayos-X de 50 kV y 1 mA, y de un detector de Si(Li) de 140 eV (FWHM) de resolución en energía. Los objetos analizados corresponden a piezas de orfebrería de plata de finales del siglo III (a.C.) procedentes de yacimientos ibéricos localizados en las provincias de Alicante y Valencia: «La Serreta» y «El Puig» en Alcoy (Contestania Ibérica) y «Los Villares» en Caudete de las Fuentes. Estos enclaves corresponden a asentamientos ibéricos de la más alta categoría en su jerarquía territorial.

INTRODUCCIÓN

La problemática más importante en el estudio de la metalurgia antigua de la plata está centrada en determinar qué técnicas se emplearon para la elaboración de objetos y, sobre todo, en qué momento aparece la copelación y si ésta

1. Institut de Ciència dels Materials. Universitat de València.

2. Departament de Física Aplicada. Universitat de València.

3. Departament de Prehistòria i Arqueologia. Universitat de València.

se generaliza o no (Hunt, 1995; Rovira, 1995). Para resolver estos problemas hacen falta amplias series analíticas sobre piezas bien fechadas que permitan establecer criterios de discriminación.

Los métodos analíticos aplicados a la determinación de los elementos químicos constituyentes de las aleaciones metálicas de objetos artísticos, deben tener la cualidad de ser inocuos y no alterar la muestra. Una de las técnicas no destructivas por excelencia es la fluorescencia de rayos-X, aplicada en arqueología desde los años 50 (Hall, 1960). Esta técnica, junto con la activación neutrónica y la gravimetría, constituye un conjunto de métodos analíticos no destructivos para la investigación arqueológica al no precisar de toma de muestras del material objeto (Rovira, 1990). El objetivo de este trabajo es contribuir a la ampliación de estas series y aproximarnos al conocimiento de esta metalurgia en la cultura ibérica.

CATÁLOGO Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LAS PIEZAS ANALIZADAS

Los objetos analizados proceden de tres yacimientos ibéricos situados en dos comarcas alejadas entre sí, pero de cronología similar.

La Serreta (Alcoi-Cocentaina-Penáguila, Alicante) es un conjunto formado por un asentamiento de gran tamaño, en cuyo interior se localiza un santuario, y su necrópolis situada junto a la puerta de acceso. El poblado tiene una cronología inicial del siglo VI a.C. y se prolonga hasta el siglo I d.C. Su época de máximo apogeo corresponde al los siglos IV-II a.C. en que debió actuar como lugar central de su territorio. Quince de los dieciséis objetos analizados proceden de la necrópolis (Cortell *et al.*, 1992; Llobregat *et al.*, 1995).

El Puig (Alcoi, Alicante) es un poblado de tamaño mediano situado cerca del anterior. Las excavaciones desarrolladas en él ponen de manifiesto la existencia de un nivel fechable en el II milenio a.C., al que se superpone otro asentamiento que se inicia entre los siglos VII-VI a.C., y se abandona a lo largo del siglo IV a.C. (Pascual, 1952; Rubio 1985).

Los Villares (Caudete de las Fuentes, Valencia) es un asentamiento de unas 10 ha de extensión que actuó como lugar central de un amplio territorio en época ibérica. El hábitat se inició a mediados del s. VII a.C., prolongándose ininterrumpidamente hasta principios del siglo I a.C. Gracias a la acuñación de moneda en el siglo II a.C. se conoce su nombre antiguo: *Kelin*. Casi todas las piezas analizadas corresponden a un nivel de habitación destruido a finales del s. III a.C. (Pla, 1980; Mata, 1991).

Los objetos analizados en este estudio se muestran en la tabla 1, donde se incluye el número de referencia de la pieza en los archivos de los museos de Alcoi y Valencia, una breve descripción de la pieza y la técnica de decoración, la datación y su peso y medidas. Dado que la orfebrería ibérica es una actividad metalúrgica muy especializada, los términos utilizados aquí para describir los procesos de elaboración y las técnicas decorativas han sido tomados del estudio de M.L. Bandera (1986).

Casi todos los objetos estudiados están elaborados a base de láminas (15) y alambres (7) de metal. Tan sólo el lingote de El Puig (P3333) puede ser una pieza fundida utilizando un molde simple. Las láminas se han elaborado mediante la técnica del batido, muchas de las cuales se han enrollado para hacer los alambres. En cinco casos se han podido observar puntos de unión de láminas y alambres. Debe ser un procedimiento utilizado en todas las piezas anulares cerradas, pero no siempre se ha podido detectar visualmente; es probable que las soldaduras sean el ligero engrosamiento que se puede ver casi siempre en los extremos del aro, a ambos lados del chatón, y que, en muchos casos, se enmascaran con motivos geométricos grabados. De acuerdo con los resultados analíticos se puede afirmar que el tipo de soldadura utilizada es la llamada dura, es decir, la que utiliza oro, plata o cobre, solos o en aleación.

Las técnicas decorativas documentadas en esta muestra son poco variadas. Nueve presentan motivos grabados en negativo, representando animales —aves en su mayoría (4)— o motivos geométricos. El aplique P3334 es un objeto al que se le han embutido hilos de plata sobre unos finos surcos incisos. Un colgante y un anillo llevaban un objeto engastado y, probablemente, el colgante S4/94 fuera el aro de engarce de otra pieza que no se ha conservado. Mucho más compleja es la decoración de la campanita S58/94 con una filigrana sentada elaborada con hilos sogueados.

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El principio físico de la técnica de fluorescencia de rayos-X (XRF) se basa en la detección de los rayos-X característicos emitidos por una muestra como consecuencia de las transiciones atómicas inducidas por fotones procedentes de una fuente externa. Mediante XRF podemos realizar análisis cualitativos y, bajo determinadas condiciones, cuantitativos de los elementos presentes en la muestra. El análisis de las energías de la radiación de fluorescencia emitida permite la identificación de dichos elementos, mientras que la intensidad de la radiación está relacionada con su abundancia en la muestra analizada.

El equipo de XRF está integrado por una fuente (Oxford Instruments) de 50 kV de voltaje máximo y 1 mA de intensidad máxima que produce un flujo de rayos-X procedente de un ánodo de Rodio (Rh). Los rayos-X característicos emitidos en una dirección determinada por la muestra, que ha sido excitada por el flujo incidente, son colectados por un detector de Si(Li) de 30 mm² y de 140 eV de resolución (FWHM a 5.9 keV) con una ventana de Berilio (Be) de 5 mm² y 8 µm de espesor. El detector está refrigerado por nitrógeno líquido a la temperatura de 77 K. La señal electrónica procedente del detector se dirige a un procesador de pulsos Link 2048, y de aquí a un multicanal y tarjeta conversora A/D que forma parte del hardware de la PCA2 de Tennelec Instruments instalado en un PC. A la salida de la fuente se hace pasar el haz por un colimador de metacrilato con abertura de 5 mm para delimitar con exactitud la zona de irradiación. El conjunto fuente-detector está integrado en un dispositi-

vo mecánico que permite fijar la geometría que forma la dirección del flujo incidente y el ángulo sólido que subtiende el detector con los rayos-X característicos emitidos por la muestra.

Las ventajas del equipo de XRF empleado radican, por una parte, en su facilidad de manejo ya que constituye un módulo portátil que permite realizar medidas *in situ*, y por otra, en la excelente resolución del detector de Si(Li) que con sus 140 eV es notablemente inferior a la de los equipos convencionales utilizados para XRF de obras de arte. Esta última característica nos permite discriminar e identificar con una mayor precisión las energías de los rayos-X excitados procedentes de los elementos presentes en el objeto analizado (Ferrero *et al.*, 1994; Almirante *et al.*, 1996).

De cada una de las piezas de orfebrería de plata ibérica estudiadas se han registrado espectros de XRF con energías de haz de 15, 25 y 50 keV. Los espectros de XRF corresponden a zonas singulares de las piezas (zonas de unión o soldadura, chatones, incrustaciones, etc.) y a partir de ellos podemos inducir los elementos químicos que integran su composición.

Los análisis de densidades se han realizado mediante una balanza hidrostática de precisión Cobos con una sensibilidad de 0.5 mg. La balanza se equilibra con la pieza suspendida de uno de los platillos y a continuación se introduce en un recipiente con agua destilada. Tras este paso, la balanza es equilibrada de nuevo obteniéndose una medida del empuje de Arquímedes sobre la pieza sumergida a partir del cual se puede determinar la densidad.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se han analizado por el método de XRF la composición elemental de los ornamentos de plata reseñados en la tabla 1. A partir del análisis de los espectros de XRF registrados hemos obtenido, para cada una de las piezas, los elementos dominantes y los que se encuentran en proporciones inferiores, dichos resultados se muestran en la tabla 2.

La característica general de los ornamentos hallados en La Serreta es que fueron contruidos con plata de elevada pureza, presentando también impurezas de cobre y en menor proporción de zinc y oro, aunque no en todos los casos. La presencia de calcio, hierro y otros elementos no asociados a la metalurgia de la plata se explica por la pátina superficial de tierra todavía presente en algunas piezas. En cinco de los ornamentos hallados en el yacimiento de La Serreta, el plomo aparece a nivel de traza, en proporciones que a menudo son utilizadas para diagnosticar la plata copelada (Rovira, 1995). Se midió la densidad de tres piezas de este yacimiento mediante una balanza hidrostática de precisión, con objeto de compararlas con los análisis de XRF de las mismas. Las densidades obtenidas se muestran en la tabla 3. La XRF del anillo S333/94 revela una pieza de elevada pureza en plata con pequeñas impurezas de cobre y zinc que no explican la baja densidad medida $9.68 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$. Este valor es debido a que pequeñas burbujas de aire quedaban adheridas a la superficie del anillo alterando la medida. La XRF del anillo S1122/87 y la densidad

medida en el mismo (10.51 ± 0.04 g/cm³) son compatibles con plata de alto grado de pureza.

En el lingote (P3333/78) hallado en el yacimiento del Puig, el plomo, junto a la plata, se encuentra en elevadas proporciones. Análisis de densidad realizados muestran un valor de densidad de 10.84 ± 0.04 que correspondería a un 70% de Ag y un 30% de Pb, resultado compatible con el análisis por XRF. La elevada cantidad de plomo y cobre presentes también en el aplique (P3334/78) del Puig procede de la base donde se incrusta una filigrana de plata.

En lo que respecta a los ornamentos hallados en el yacimiento de «Los Villares», los análisis de XRF los anillos V2919 y V7363 indican que son aleaciones de plata y cobre, que a partir de la medida de densidades podemos cuantificar en el 37% de Ag y 63% de Cu para el primero, y 16% de de Ag y 84% de Cu para el segundo. La ley de la pulsera V7516 es superior a la de la pulsera V4996, obteniendo a partir de la gravimetría una composición porcentual del 99% de Ag para la primera y del 66% para la segunda.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los directores de la excavación de la necrópolis de La Serreta, E. Llobregat y M. Olcina, que nos hayan prestado este material, inédito en buena parte. También nuestro agradecimiento al director del Museu Municipal d'Alcoi por dejarnos consultar otras piezas (poblados de La Serreta y El Puig) también inéditas.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMIRANTE, J.; FERRERO, J. L.; INEBA, P.; NAVARRO, E.; NAVARRO, F. J.; ROLDÁN, C. y VALDÉS, J. L.
(1996) Análisis por fluorescencia de Rayos-X de los fondos de pintura gótica y renacentista del Museu Sant Pius V. Primeros resultados. *XI Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, Castellón.
- BANDERA, M. L.
(1986) Introducción al estudio de la joyería prerromana peninsular. *Técnicas. Habis*, 17, 515-538, Sevilla.
- CORTELL, E.; JUAN, J.; LLOBREGAT, E. A.; REIG, C.; SALA, F. y SEGURA, J. M.
(1992) La necrópolis ibérica de La Serreta: resumen de la campaña de 1987. *Trabajos varios del Servicio de Investigación Prehistórica*, 89, 83-16, Valencia.
- FERRERO, J. L.; CARRASCO, R. y GIMENO, E.
(1994) Fluorescencia de Rayos-X aplicada al estudio de pigmentos utilizados por Francisco Osona y el Maestro de Artés. En *Catálogo de la Exposi-*

ción «El Mundo de los Osona». Generalitat Valenciana, Conselleria de Cultura. Valencia.

HALL, E. T.

(1960) X-ray fluorescence analysis applied to Archaeology. *Archaeometry*, vol. 3, 29-35.

HUNT, M. A.

(1995) El foco metalúrgico de Aznalcóllar, Sevilla. Técnicas analíticas aplicadas a la arqueometalurgia del Suroeste de la Península Ibérica. *Tartessos: 25 años después (Jerez de la Frontera, 1993)*. Biblioteca de Urbanismo y Cultura, n.º 14, 447-473.

LLOBREGAT, E. A.; CORTELL, E.; JUAN, J.; OLCINA, M. y SEGURA, J. M.

(1995) El sistema defensivo de la porta d'entrada del poblat ibèric de La Serreta. Estudi preliminar. *Recerques del Museu d'Alcoi*, 4, 135-162, Alcoi.

MATA, C.

(1991) Los Villares (Caudete de las Fuentes, Valencia): origen y evolución de la Cultura Ibérica. *Trabajos varios del Servicio de Investigación Prehistórica*, 88, Valencia.

PASCUAL, V.

(1952) El poblado ibérico de El Puig (Alcoy). *Archivo de Prehistoria Levantina*, III, 135-145, Valencia.

PLA, E.

(1980) Los Villares (Caudete de las Fuentes). *Trabajos varios del Servicio de Investigación Prehistórica*, 68, Valencia.

ROVIRA, S.

(1990) La metalurgia en América: análisis tecnológico de materiales prehispánicos y coloniales. Tesis Doctoral Universidad Complutense, Madrid.

(1995) De metalurgia tartésica. *Tartessos: 25 años después (Jerez de la Frontera, 1993)*. Biblioteca de Urbanismo y Cultura, n.º 14, 475-506.

RUBIO, F.

(1985) El poblado ibérico de El Puig (Alcoy). Antecedentes y campaña de 1982. *Noticiario Arqueológico Hispánico*, 24, 91-157, Madrid.

Tabla I. Catálogo de piezas analizadas.

REFERENCIA Y DESCRIPCION DE LA PIEZA	TECNICA Y DECORACION	PESO (g)	MEDIDAS (mm)	FECHA
La Serreta:				
<u>Anillo</u> S1122/87 aro sección rectangular, chatón ovalado	Batido con ave grabada	3.89	Ø 21, grosor 4	IV-III a.C.
S1395/87 aro laminar, chatón ovalado	Batido con motivo indet. grabado	1.78	ancho aro 3	IV-III a.C.
S1616/87 aro sección rectangular, chatón ovalado	Batido con ave grabada	3.29	Ø 22, grosor 3	IV-III a.C.
S728/89 aro laminar roto, chatón circular	Batido con ave grabada	1.57	Ø chatón 12	IV-III a.C.
S752/89 aro laminar, chatón discoidal	Batido+soldadura; motivo grabado	2.12	Ø aro 17, Ø 8	IV-III a.C.
S80/90 aro laminar, anverso hueco	Batido; hueco para engaste	3.88		IV-III a.C.
S5/94 aro laminar muy incompleto	Batido			IV-III a.C.
S333/94 aro laminar, chatón ovalado	Batido+soldadura; carnívoro grabado	2.71	ancho 4.5; gros 1.5	IV-III a.C.
S855/87 abierto con extremos adelgazados	Alambre macizo	1.31	grosor 1	IV-III a.C.
S1396/87 abierto con extremos adelgazados	Alambre + soldadura	0.48	L 20.5; grosor 2.5	IV-III a.C.
S133/90 abierto con extremos adelgazados	Alambre macizo	0.67	L 10; grosor 2	IV-III a.C.
<u>Colgante</u> S854/87 ovalado con anilla, anverso hueco	Batido+soldadura; engaste	1.63	Ø 7.5	IV-III a.C.
S3/94 hilo adelgazado y otro enrollado; inc.	Alambre macizo	1.17	Ø 18x11	III a.C.
S4/94 laminar; anilla suspensión; incompleto	Batido, 2 series de ovas grabadas	1.34	L 18.5; grosor 2.5	V-III a.C.
S392/94 hilo adelgazado y otro enrollado	Alambre macizo	1.10	ancho 7; gros 0.5	IV-III a.C.
<u>Campana</u> S58/94 cónica, anilla suspensión y badajo	Batido+soldadura, filigrana sentada	3.74	L 18.5; grosor 2.5	V-III a.C.
El Puig:				
<u>Lingote</u> P3333/78 semicircular con reverso cóncavo	Fundido	4.12	Ø max 14; alt. 26	IV a.C.
<u>Aplique</u> P3334/78 discoidal	Hilos embutidos en base metálica	0.97	Ø 1.7; grosor 6	IV a.C.
Los Villares:				
<u>Anillo</u> V2919 aro laminar, chatón ovalado	Batido; caballo o Pegaso grabado	8.2	Ø aro 22	Fin III a.C.
V7363 sección circular, chatón discoidal	Batido; aves grabadas	1.7	Ø 244; grosor 1.5	IV-I a.C.
<u>Pulsera</u> V7516 sección circular, extremos engrosados	Alambre macizo	12.4	Ø 60; grosor 3-3.5	Fin III a.C.
V4996 sección circular, extremos anudados	Alambre macizo	69.24	Ø 80.5; grosor 5	Fin III a.C.

Tabla 2. Elementos identificados en las piezas por fluorescencia de rayos-X.

DESCRIPCIÓN PIEZA	Elementos Mayoritarios	Elementos Minoritarios	Elementos Traza	Comentarios
La Serreta:				
<u>Anillo</u> S1122/87	Ag	Cu, Ca, Fe		
S1395/87	Ag		Cu, Fe, Mn	
S1616/87	Ag	Cu, Au		
S728/89	Ag			Pátina superficial: Ca
S752/89	Ag	Cu		Soldadura: Ag, Ni, Cu, Au
S80/90	Ag	Cu	Ni, Pb	
S5/94	Ag	Cu, Zn, Fe	Pb	
S333/94	Ag	Cu, Fe, Ni		
<u>Aro</u> S855/87	Ag	Fe, Zn	Pb	Pátina superficial: Ca
S1396/87	Ag	Zn		Pátina superficial: Ca
S133/90	Ag	Cu, Fe, Au		
<u>Colgante</u> S854/87	Ag, Ca	Cu, Zn		Incrustación ósea
S3/94	Ag	Cu		
S4/94	Ag	Cu, Zn		Pátina superficial: Ca
S392/94	Ag, Cu	Zn		
<u>Campana</u> S58/94	Ag	Cu, Zn	Pb	
El Puig:				
<u>Lingote</u> P3333/78	Ag, Pb	Fe, Ca		
<u>Aplique</u> P3334/78 Reverso	Pb, Cu, Fe			
P3334/78 Anverso	Ag, Pb, Cu, Fe			
Los Villares:				
<u>Anillo</u> V2919	Ag, Cu			
V7363	Cu, Ag			
<u>Pulsera</u> V7516	Ag			
V4996	Ag, Cu			

Tabla 3. Densidad de diversos ornamentos de plata ibérica y composición elemental de los mismos.

PIEZA		ρ (g/cm ³)	Ag	Pb	Cu
Anillo	S333/94	9.68±0.05(*)	---	---	---
Anillo	S1122/87	10.51±0.04	99	<1	<1
Lingote	P3333/78	10.84±0.04	70	30	
Anillo	V2919	9.53±0.02	37		63
Anillo	V7363	9.20±0.09	16		84
Pulsera	V7516	10.48±0.08	99		1
Pulsera	V4996	9.98±0.03	66		34

(*) Pequeñas burbujas adheridas a la superficie en el proceso de medida nos hacen dudar de este valor.

ALEACIONES DE BRONCE EN EL CENTRO DEL VALLE DEL DUERO DURANTE LA II EDAD DEL HIERRO: PRIMERA CARACTERIZACIÓN MEDIANTE FRX-EDS

por

Francisco Javier SARABIA HERRERO y Jesús MARTÍN GIL ¹

RESUMEN

Se ha analizado, mediante FRX-EDS, una colección de 349 objetos de bronce vacceos procedentes de Padilla de Duero (Valladolid). Los resultados obtenidos, interpretados considerando las limitaciones de la técnica ya expuestas por nosotros en el II Congreso de Arqueología Peninsular de Zamora, nos han permitido establecer una hipótesis para la secuencia evolutiva de las aleaciones durante la segunda mitad del último milenio a.C., destacando el paso del empleo de aleaciones muy duras pero frágiles (por excesivamente ricas en estaño) a otras mucho más ajustadas a la vida útil de los objetos. Igualmente, se han establecido tendencias en el bronce empleado para cada tipo de objeto, obteniéndose la impresión global de que la preocupación fundamental a la hora de seleccionar la aleación empleada es garantizar el éxito de la fundición.

INTRODUCCIÓN

El objeto de la presente comunicación es difundir las conclusiones más significativas de nuestro estudio sobre la composición de las aleaciones de base cobre durante la segunda mitad del primer milenio a.C. en el centro del valle del Duero, y que nos ha permitido encuadrar muchos aspectos de la metalurgia vaccea. Con este fin, hemos analizado 349 objetos de bronce procedentes del yacimiento vallisoletano de Las Ruedas, en Padilla de Duero (J. Sarabia; 1995a: 491 a 568).

1. D. de Ingeniería Agrícola y Forestal. E.T.S. de Ingenieros Industriales. Universidad de Valladolid.

Para este trabajo hemos recurrido a la fluorescencia de rayos X por discriminación de energías (FRX-EDS) mediante el empleo de un espectrómetro Philips PV9550 con tubo de rodio y cámara de vacío, obteniendo resultados semicuantitativos de la composición de las piezas (el listado completo de análisis puede encontrarse en J. Sarabia; 1995a: 609 a 750). El análisis estadístico ha sido realizado con el apoyo del programa informático STATISTICA, facilitado por el Dr. Miguel Ángel Revilla Ramos del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Valladolid.

Obviaremos entrar en la definición de conceptos así como en la consideración de las limitaciones de la técnica, aspectos que ya hemos tratado y debatido en otras ocasiones (J. Sarabia y J. Martín; e.p., J. Sarabia; 1996 y 1995b).

ANÁLISIS CUALITATIVO

Llama la atención el resultado obtenido para el antimonio, superior al 1% en 13 casos (con un valor mínimo para esta muestra de 1'073, máximo de 11'820, media de 2'50 y una moda en torno a 1). Es un fenómeno conocido para la zona oriental del Mediterráneo (P. Craddock; 1975: 244) cuyo significado aún no está claro: se ha venido interpretando bien como una substitución del estaño para abaratar la aleación, bien con una intención de dar un color plateado a los broncees forzando una segregación inversa. Una reciente investigación sobre el tema (P. MacClean; 1993) se decanta por los motivos decorativos más que económicos, aunque pone en duda la posibilidad de la segregación inversa. De momento aún es muy pronto para aventurar ninguna hipótesis, pero tal vez sí sea significativo que, de los 13 casos, los cinco dados sean todos posteriores al 300 a.C.

Otro hecho notable es la coincidencia de aleaciones muy ricas en plomo en piezas que combinan bronce y hierro de una manera estructural, en relación con lo que parece ser la búsqueda de una solución al problema de fundir bronce directamente sobre hierro, ya que el empleo de una aleación de muy baja temperatura de fusión indudablemente facilita dicha operación. La frecuencia con que aparece hace difícil pensar que se trate de un caso de impericia del fundidor y tampoco resulta convincente hablar de lingotes, interpretación con que, en ocasiones, se ha intentado explicar la presencia de elevados porcentajes de plomo en algunas piezas (A. González; 1993: 37).

Los arreos de caballo y broches en omega estudiados son bastante uniformes. En los primeros, las diferencias observadas son relativas a los remaches (cuyos vástagos suelen ser de hierro) y, a veces, a la utilización de distintas aleaciones para la cabeza del remache y el cuerpo de la pieza. En cualquier caso, es un detalle no significativo.

En cuanto a los segundos, presentan una relación entre los factores aleación-fabricación-funcionalidad más equilibrada y uniforme que las fíbulas (v.i.). Los broches son uniformes en su aleación y, de haber variación, pudo buscarse para facilitar la fundición de la aguja. Por otro lado, se podría sospe-

char la existencia de un módulo de peso que hace que algunos valores se agrupen en torno al 10%.

Otro aspecto que puede ser de interés son los remaches. La impresión general es de heterogeneidad, pero, con todo, parece que, especialmente en épocas tardías, el remache puede ser de la misma aleación que el resto de la pieza (aunque hay demasiadas excepciones como para establecer una regla general).

En cuanto a su tipología de fabricación, parecen reconocerse cinco tipos: aquellos realizados íntegramente en bronce; los fabricados en bronce con sujeción reforzada por una pequeña placa de hierro con perforación central; los de cabeza de bronce y vástago de hierro sin refuerzo posterior; los manufacturados íntegramente en hierro, sin refuerzo posterior; y los hechos íntegramente en hierro con refuerzo de una placa posterior de hierro.

Los casos más frecuentes corresponden a piezas con todo el remache en bronce (con o sin refuerzo) o bien a aquellas que exhiben un vástago de hierro con una cabeza de bronce o latón (aleación de cobre y cinc). No nos atrevemos a aventurar ninguna relación cronológica para ninguna de estas dos series: el primer tipo carece de cronología clara y el segundo se vincula tanto a broches Bureba tempranos como a arreos de caballo tardíos. Parece que el motivo de la elección de un tipo u otro es, fundamentalmente, la fuerza requerida al remache durante la vida útil de la pieza.

Otra constante es la tendencia a incrementar, exageradamente en el caso de los broches Bureba, el porcentaje de plomo en las cabezas de los remaches con vástago de hierro.

ANÁLISIS SEMICUANTITATIVO

Un primer conjunto de piezas estudiado es la llamada Colección Madrazo, formada por objetos recuperados en superficie y a los que se puede suponer una cronología antigua, de en torno al siglo IV a.C. Este conjunto nos da una imagen de bronce prácticamente binarios, con una media de estaño de 16'15% y una mediana de 15'53%, y con valores bajos de plomo.

Considerando la totalidad de las piezas ordenadas por su cronología, se observa cómo el estaño disminuye claramente según avanza el tiempo: en parte se debe a la entrada en escena de otros elementos como el cinc y, en mucha menor medida, el antimonio, pero parece más lógico pensar en un paso de aleaciones muy duras (pero frágiles por excesivamente ricas en estaño) a otras mucho más ajustadas a la vida útil de los objetos según gana en pericia el artesano. Como es lógico, el cobre compensa esta tendencia con un crecimiento recíproco de sus porcentajes, mientras el plomo se mantiene prácticamente estable a lo largo de todo el período. Esto último contradice otras tendencias observadas (S. Rovira; 1987: 55), pero creemos que la razón de la discrepancia reside en que el Dr. Rovira, para buscar esa evolución, examinó fundamentalmente fibulas (éste es el tipo de pieza más comentado en dicho trabajo) siendo, efectivamente, tal la tendencia observada por nosotros para esa muestra específica.

El latón, por la cronología con que aparece, es claramente una aleación vinculable a la presencia romana. En cuanto al arsénico (figura 1), presenta unos valores que inducen a pensar en el paso del empleo de cobre obtenido mediante una tecnología de reducción antigua (o incluso muy primitiva en algunos momentos de mediados de la II Edad del Hierro), al uso, a partir del siglo II a.C., de cobre reducido en hornos verticales de alta tecnología (sobre la relación del arsénico con la tecnología de reducción del cobre puede leerse a P. Budd; 1991, o el resumen hecho por uno de nosotros en J. Sarabia; 1995a: 79 a 81).

Por tanto, ambos elementos denuncian un cambio tecnológico importante en torno a principios del siglo II a.C., caracterizado al menos por la introducción del latón (aleación muy vinculada a la metalistería romana (S. Rovira; 1990: 139) y generalmente usada en la elaboración de objetos ornamentales) y un cambio en los procesos de reducción del cobre, en las regiones donde éste se beneficiara.

En cuanto al estudio de las aleaciones por tipos y subtipos podemos destacar los siguientes resultados.

Resulta interesante el elevado contenido en estaño de las agujas, lo que podría ponerse en relación con una búsqueda de dureza, al igual que la ligera presencia de plomo podría inducir a pensar en la intención de facilitar la fundición de la pieza. En cambio, los anillos dan la impresión de que se hacen con aleaciones más descuidadas, procedentes tal vez de refundiciones. Es éste de los anillos uno de los pocos casos en los que se puede hablar con cierta seguridad de refundiciones, extremo normalmente difícil de detectar y que puede intuirse por la coincidencia de una serie de aspectos como la inadecuación de la aleación a la utilidad esperada de la pieza, la heterogeneidad de la aleación en un grupo de piezas, los porcentajes anómalamente bajos de estaño y plomo (demasiado altos para provenir del mineral de cobre y demasiado bajos para pensar en una adición intencionada), porcentajes muy bajos de algún elemento traza (pero no de todos, en cuyo caso es más sensato pensar que el cobre fue purificado antes de ser aleado).

Los arreos son, en su mayoría, latones con contenidos bajos en cinc, mientras que los botones son, claramente, bronces binarios con una ligera inclusión de plomo. El caso de las sítulas es parecido al de los botones (si bien la muestra es excesivamente pequeña para valorar este hecho) y las pulseras pueden ser bronces binarios o ternarios.

Las chapas son bronces binarios puros, mientras que las placas, excluidas las de cinturón, plantean la posibilidad de una falta de control efectivo de la aleación. Al grupo de las chapas se podrían vincular los broches Bureba y la única placa céltica estudiada, y al de las placas aquellas articuladas por bisagra y las ibéricas.

Similares a las chapas serían también los broches de doble anzuelo y los broches en omega, con la salvedad de que estos dos últimos grupos resultan ser muy uniformes y quedan muy bien representados por su media (en realidad, los broches en omega son la única muestra realmente representada por

sus medidas de tendencia central, lo que significa que es el único tipo realmente homogéneo en cuanto a su aleación).

En el caso de las fíbulas, se empleó en general un bronce ternario, con tendencia a incrementarse en plomo y empobrecerse en estaño según avanza la Edad del Hierro. A este esquema parecen adaptarse bastante bien todos los tipos, con unos extremos marcados por las fíbulas de doble resorte de puente en cruz (las más ricas en estaño) y las fíbulas con esquema de La Tène (con una media de plomo que llega al 10%). Estos llamativos contenidos en plomo de las fíbulas de La Tène podrían apoyar la idea del Dr. Rovira Lloréns de que se trata de importaciones (S. Rovira; 1993: 51).

CONSIDERACIONES FINALES

La impresión global es de que la preocupación fundamental a la hora de seleccionar la aleación empleada era garantizar el éxito de la fundición, forzándose en algunos casos a tener que terminar la pieza con un trabajo de forja complicado precisamente por las características mecánicas de la aleación preparada.

Debemos decir que es llamativo el hecho de que en ningún momento parece detectarse un comportamiento en las aleaciones que pueda relacionarse con carencia de metal, como materia prima, en una región que destaca por la ausencia total del mismo. Estamos ante una sociedad rica (sin que podamos entrar en la distribución de esa riqueza), bien abastecida gracias al comercio y que puede permitirse mantener a unos especialistas del metal que mantienen vivas y en evolución unas tradiciones de trabajo.

Finalmente, si consideramos que apenas se detectan aleaciones que hagan sospechar la existencia de refundiciones, que apenas se dan hallazgos de metales en los poblados, excepción hecha de los tesorillos que deben explicarse aparte (L.C. San Miguel; 1989: 14), ni de acumulaciones de piezas rotas, mientras que es abundante la presencia de metal en las tumbas, cabe pensar en la existencia de algún tipo de mecanismo cultural que haga que el bronce no se amortice por refundición sino por deposición, ya sea en tumbas, santuarios o respondiendo a algún otro tipo de ritual u ofrenda.

BIBLIOGRAFÍA

ARANA, R. *et alii* (eds.)

(1993) *Metalurgia en la Península Ibérica durante el primer milenio a.C. Estado actual de la investigación*, Murcia, Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Murcia.

BUDD, Paul

(1991) *A Metallographic Investigation of Eneolithic Arsenical Copper*. Tesis Doctoral no publicada, defendida en el Department of Archaeological Sciences, Universidad de Bradford.

CRADDOCK, Paul T.

(1975) *The Composition of Copper Alloys used in the Classical World*. Tesis Doctoral no publicada, defendida en el *Institute of Archaeology*, Universidad de Londres.

GONZÁLEZ PRATS, Alfredo

(1993) *La metalurgia del Bronce Final en el Sudeste de la Península Ibérica*. En R. Arana *et alii* (1993), pp. 19 a 43.

MACLEAN, Paul Ian

(1993) *A Metallurgical Investigation into Antimonial Bronze and its Archaeological Occurrence*. Bradford, Tesina no publicada, defendida en el Department of Archaeological Sciences, Universidad de Bradford, Inglaterra.

ROVIRA LLORÉNS, Salvador

(1987) Aspectos tecnológicos del Bronce Final y de la Edad del Hierro. *Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología*, N.º 23, 53 a 57.

(1990) La fíbula de tipo aucissa: análisis tecnológico de algunos ejemplares hispánicos. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología*, 17, 137 a 141.

(1993) La metalurgia de la Edad del Hierro en la península Ibérica: una síntesis introductoria. En R. Arana *et alii*, 45 a 70.

SAN MIGUEL MATE, Luis Carlos

(1989) El hábitat. En *Padilla de Duero: Investigaciones Arqueológicas 1985-1989*. Valladolid, Junta de Castilla y León, Museo Arqueológico Provincial de Valladolid, 12 a 15.

SARABIA HERRERO, Francisco Javier

(1995a) *Arqueometalurgia prerromana: los bronce de la necrópolis vaccea de Las Ruedas en Padilla de Duero (Valladolid)*. Valladolid, Universidad de Valladolid.

(1995b) Estadística y Arqueología. Consideraciones sobre su aplicación. Conceptos básicos. *Mnemosyne*, 1. Primer semestre de 1995. Boletín de la Asociación de Jóvenes Historiadores de España editado en soporte informático, I.S.S.N. 1135-2426, D.L. VA-244-1995, 32 a 45.

(1996) Los conceptos de metal, metalurgia y arqueometalurgia: una propuesta para su definición en Arqueología». *Acontia. Revista de Arqueología*, 2, 1996, 11 a 18, I.S.S.N: 1135-8858.

SARABIA HERRERO, Francisco Javier y MARTÍN GIL, Jesús

(e.p.) Revisión metodológica de la FRX-EDS: bases para una nueva valoración de los datos. En *Actas del II Congreso Peninsular de Arqueología*, Zamora.

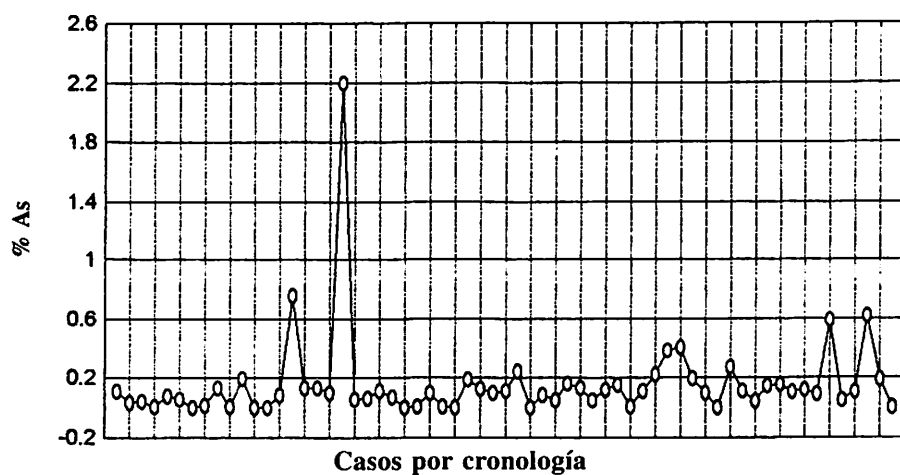


Figura 1. Diagrama lineal de los resultados obtenidos para el arsénico en el análisis de las piezas de cronología conocida con una precisión de al menos 100 años. Casos ordenados por cronología.

ANÁLISIS DE MONEDAS Y VASIJAS ROMANAS DE PLATA REALIZADOS MEDIANTE EDXRF Y TRANSMISIÓN GAMMA

por

G. CONDE¹, M. D. YNSA¹, B. GÓMEZ-TUBÍO²,
M. A. RESPALDIZA¹ y F. FERNÁNDEZ³

RESUMEN

En este trabajo se presentan los análisis de una serie de monedas y vasijas romanas de plata realizados mediante las técnicas de Fluorescencia de Rayos X (EDXRF, del inglés Energy Dispersive X Ray Fluorescence), Transmisión Gamma y Microscopía Electrónica de Barrido. Los resultados obtenidos permitirán realizar el estudio sobre las analogías composicionales de las mismas aportando, en algunos casos en los que había fundadas sospechas, evidencias sobre su posible falsedad.

INTRODUCCIÓN

El empleo de técnicas nucleares de análisis en el estudio de materiales, como la Fluorescencia de Rayos X y la Transmisión Gamma, es útil en el desarrollo de labores interdisciplinares como puede ser la Arqueometría, ya que permiten un análisis multielemental de las piezas de forma no destructiva.

La Fluorescencia de Rayos X se basa en el estudio de la radiación que emiten los materiales al ser excitados por radiación electromagnética. Dicha respuesta es característica de cada átomo. Esto permite obtener información de la composición superficial del material para elementos más pesados que el sodio.

Con la Transmisión Gamma se determina el coeficiente de absorción de la muestra, midiendo la atenuación que sufre un haz de fotones al atravesarla. El coeficiente de absorción dependerá de la composición de la muestra en el espesor atravesado, por lo que se obtendrá un análisis de volumen de la misma, aunque sin embargo esta técnica no permite un análisis multielemental de la pieza.

1. Dpto. de Física Atómica, Molecular y Nuclear. Facultad de Física. Apdo. 1065. 41080 Sevilla.

2. Dpto. de Física Aplicada. E.S. de Ingenieros. Camino de Los Descubrimientos, s/n. 41092 Sevilla.

3. Museo Arqueológico. Plaza de América, s/n. 41013 Sevilla.

Los objetos de plata presentan una ventaja considerable, frente a otros objetos fabricados con metales menos nobles, a la hora de estudiar la composición de los mismos, y ésta es que no se oxidan fácilmente, de forma que la pátina tiene una menor importancia relativa. De hecho, si nos encontrásemos corrosión en un objeto de plata sería debida al azufre y cloro con el que haya podido estar en contacto durante eventuales enterramientos. Con el paso del tiempo, los objetos de plata sufren un enriquecimiento relativo de ésta en su superficie debido a una pérdida de otros materiales como el cobre y plomo, que se van oxidando y formando compuestos que se desprenden de la superficie [1]. Además en algunos denarios romanos tenemos un núcleo de cobre rodeado de una capa de plata de alta pureza [2]. Por lo tanto, la composición superficial de las muestras puede ser en general distinta de la interior, por lo que las técnicas superficiales de análisis deben de combinarse con otras que aporten información de volumen.

La plata se presenta en la naturaleza combinada con oro, mercurio, azufre, cloro, antimonio, cobre, plomo, arsénico, bismuto, cinc y piritas de hierro. Así pues, éstos son los elementos que nos esperamos encontrar al realizar el análisis de las monedas. Otro hecho es que debemos tener en cuenta que la plata es muy maleable, de forma que se alea con otros materiales para aumentar su dureza.

INSTRUMENTACIÓN

El equipo experimental de fluorescencia consta de una fuente anular excitadora (radioisótopo ^{109}Cd con emisión de rayos X de la plata de energía promedio 22,5 keV), que se sitúa en un soporte el cual cumple una triple función: permite fijar la geometría de excitación-detección, garantiza el blindaje del detector y proporciona una buena colimación del haz de rayos X proveniente de la muestra.

Nuestro sistema de detección está formado por un detector semiconductor de Si(Li) de 3 mm de espesor, con una resolución de 170 eV para el pico de 5,9 keV y una ventana de berilio de 25 μm de espesor, unido a una cadena electrónica convencional (preamplificador, amplificador, ADC y multicanal) que amplifica y digitaliza la señal producida en el detector generando un espectro característico de rayos X como el que se muestra en la figura 1.

Utilizando el programa AXIL [3], se identifican los distintos picos característicos que aparecen en el espectro y se obtienen las áreas de los mismos.

El equipo de Transmisión Gamma (GRT) consta de una fuente puntual del radioisótopo ^{241}Am (que emite fotones γ de 60 keV), un detector de centelleo de NaI(Tl), y una cadena electrónica formada por preamplificador, amplificador y analizador multicanal. En este caso, la radiación electromagnética que haya atravesado la muestra es recogida en el detector, obteniéndose información acerca del coeficiente de absorción de la pieza. Tanto la fuente como el detector lo blindamos con plomo; el haz de fotones se colima mediante un ori-

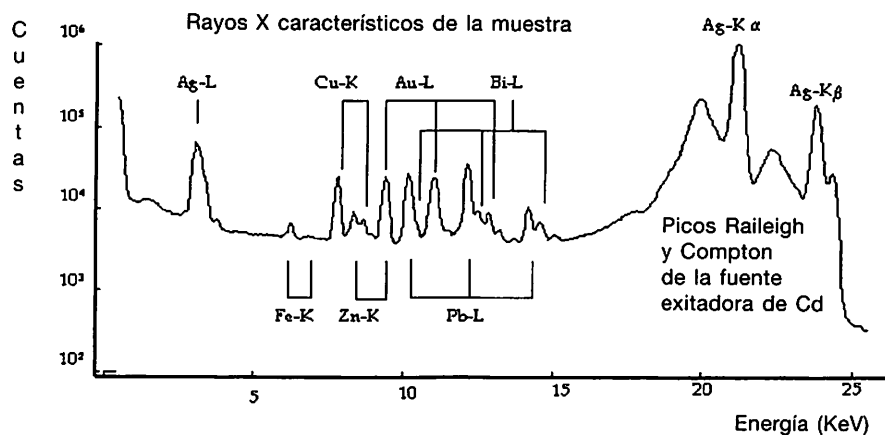


Figura 1: Espectro de Fluorescencia de Rayos X de una moneda de plata (F3) utilizando una fuente de ^{109}Cd . Nótese que la escala vertical es logarítmica.

ficio cilíndrico de 10 cm de largo y 4 mm de diámetro entre la fuente y la muestra, y de forma análoga entre ésta y el detector.

El microscopio electrónico empleado es un modelo PHILIPS XL30, perteneciente al servicio de microscopía de la Universidad de Sevilla. La muestra es excitada mediante un haz de electrones de 30 kV y el detector utilizado es de electrones retrodispersados.

DESCRIPCIÓN DE LAS PIEZAS

Las muestras son un conjunto de 25 monedas romanas y dos fragmentos de vasijas. Las monedas fueron proporcionadas por el Museo Arqueológico de Sevilla, a excepción de un denario cortado, facilitado por el Departamento de Química Física de la Universidad de Cádiz. El conjunto suministrado por el Museo Arqueológico estaba dividido en cuatro grupos: uno de ellos corresponde al tesoro de la Puebla de los Infantes (Sevilla), cuyo estado de conservación es muy deficiente; un segundo grupo lo forma el tesoro del Castillo de las Guardas (Sevilla) [4], cuyas monedas estaban bien datadas y en muy buen estado; el tercero es una colección particular compuesta por 12 denarios, la mayoría de ellos se sospecha que son falsificaciones actuales; y el cuarto grupo pertenece a otra colección privada cuyo estado de conservación es también deficiente.

Las vasijas que hemos analizado han sido dos; una de ellas era la que contenía las monedas del tesoro del Castillo de las Guardas, y la otra es una vasija íbera.

Tabla 1. Relación de piezas analizadas.

PIEZAS	NUMERACIÓN
Monedas del tesoro de la Puebla de los Infantes	P1 al P3
Monedas del tesoro del Castillo de las Guardas	G1 al G6 ¹
Monedas de colección particular con falsificaciones	F1 al F12
Monedas de colección particular sin falsificaciones	S1 al S5
Vasija del tesoro del Castillo de las Guardas	V1
Vasija íbera	V2
Moneda facilitada por la Universidad de Cádiz	C1

RESULTADOS

Una vez obtenidos los espectros mediante Fluorescencia de Rayos X, éstos son tratados con el programa AXIL obteniendo los distintos elementos que componen la muestra y sus áreas. Atendiendo a estos datos se puede realizar un análisis semicuantitativo, como se muestra en la tabla 2.

En el caso de las monedas F1-F12 se observa como todas ellas tienen una gran analogía en su composición. Únicamente F1 y F3 se distinguen del resto, ya que en ellas el número de elementos minoritarios es mayor y aparecen nuevos elementos como el mercurio y el bromo. Dado que las técnicas de depurado actuales están mucho más evolucionadas concluiremos que la mayoría de los denarios F podrían ser falsificaciones, puesto que contienen sólo plata y cobre como elementos de la matriz, exceptuando a F1 y F3 que podrían ser verdaderos. Ello confirma otras evidencias de índole tipológico que habían hecho sospechar de su autenticidad.

En el estudio de las vasijas se pretendía ver si V1 presentaba alguna relación con las monedas que contenía o con V2 que es de manufactura íbera. A la vista de los espectros obtenidos, pensamos que no existe ninguna relación entre ellas. Ya que contienen elementos distintos y aunque en ambas el oro es un elemento mayoritario, la concentración de Au es mucho más elevado para V2.

En un posterior estudio estadístico de los datos, calculamos el coeficiente de correlación [5] entre las piezas, utilizando para ello directamente las áreas calculadas por el programa AXIL. Se ha empleado como peso del ajuste la inversa del error, con la intención de dar mayor relieve a los datos afectados de un menor error estadístico. En la tabla 3 se presentan los grupos de piezas composicionalmente correlacionadas ($r > 0,85$).

1. En la clasificación según [4] corresponden G1-93, G2-61, G3-24, G4-4, G5-25 y G6-26.

Tabla 2. Composición de las muestras analizadas. Elementos mayoritarios, minoritarios y trazas.

MONEDAS	MAYORITARIOS	MINORITARIOS	TRAZAS
P1, P3	Ag, Br	Cu, Pb, Bi	Cl, Fe
S4			Cu, Pb
G4,G5, G6	Ag, Cu	Pb, Au, Bi	Cl, Fe, Br
F4			Cl, Fe, Ni, Au
F6			Cl, Fe, Au
F7			Fe, Au
F8			Fe
F9			Cl, Fe, Ni, Au, Pb
F10			Cl, Fe, Au, Pb
F2		Au	Cl, Fe, Ni, Zn ,Pb
F11			Fe
F5		Zn, Pb	Cl, Fe, Au
F12		Ni, Au	Cl, Fe, Zn
S1, S3		Au, Pb	Cl, Fe, Br, Bi
F1		Pb, Au, Bi	Cl, Fe, Hg
S2		Au, Pb, Br	Cl, Fe, Bi
S5		Br, Pb	Cl, Fe, Au, Hg, Bi
P2	Ag, Pb	Cu, Br, Sr, Au, Bi	Cl, Fe
G1		Bi	Cl, Fe, Cu, Br, Au
G2		Bi, Au	Cl, Fe, Cu, Br
F3		Cu, Zn, Au, Bi	Cl, Fe, Br
G3	Ag, Au	Cu, Pb, Bi	Cl, Fe, Hg
V1		Cu, Bi	Cl, Fe, Ni, Zn, Br, Hg, Pb
V2		Cu, Zn, Br	Cl, Fe, Ni

Si observamos esta tabla y la comparamos con la tabla 2 vemos que la mayoría de la información se reproduce. Las pequeñas diferencias que se presentan se deben a que en el cálculo del coeficiente de correlación los elementos minoritarios y trazas pierden peso.

Nótese que al emplear las áreas, y no las concentraciones de los elementos, los resultados podrán ser no del todo significativos, pues podría haber cambios importantes en las áreas de determinados elementos debido a cambios en la matriz y no a un cambio en su concentración. Por ello en la actualidad se está completando este trabajo mediante el cálculo de las concentraciones de los elementos de cada pieza.

En la figura 2 se representan para un conjunto parcial de monedas, el coeficiente de absorción másico calculado mediante Transmisión Gamma, y las densidades que hemos medido gravimétricamente. Se puede distinguir de forma inmediata los denarios forrados (C1, S3, S5; estas dos últimas medidas en dos

Tabla 3. Grupos de monedas obtenidos a partir del coeficiente de correlación.

GRUPOS	MONEDAS	GRUPOS	MONEDAS
Grupo 1	P1, P3, S4	Grupo 4	F1, F2, F4 - F12, S1, S3
Grupo 2	G4, G5, G6, F3	Grupo 5	S2, S5
Grupo 3	G1, G2	Desagrupadas	P2, G3, V1, V2

puntos distintos), ya que dichos parámetros son menores que los que corresponderían a una pieza compuesta únicamente de plata. Hay que resaltar el hecho de que el cambio relativo del coeficiente de absorción es mucho mayor que el de la densidad, y que éste proporciona información sobre las concentraciones de los elementos que componen la muestra en volumen [6], de modo que nos permite en algunos casos, por ejemplo cuando la moneda sea maciza, realizar una corrección de las concentraciones superficiales. En las monedas S3 y S5 se observa que el coeficiente de absorción varía dependiendo del punto analizado, ya que el espesor de las capas de los distintos materiales que la componen no es constante, como se puede ver en la figura 3.

Para complementar estas medidas se han realizado estudios mediante microscopía electrónica, obteniendo imágenes de monedas forradas con electrones retrodispersados (que son sensibles al número atómico de los elementos). En la figura 3 se presenta el corte transversal de una moneda donde se pueden observar zonas en las que hay plata (blanco), otras en las que hay cobre (grises) y las zonas que corresponden a óxidos de cobre (grises oscuros). Como ya se ha comentado las distintas capas de material no poseen un espesor fijo lo que

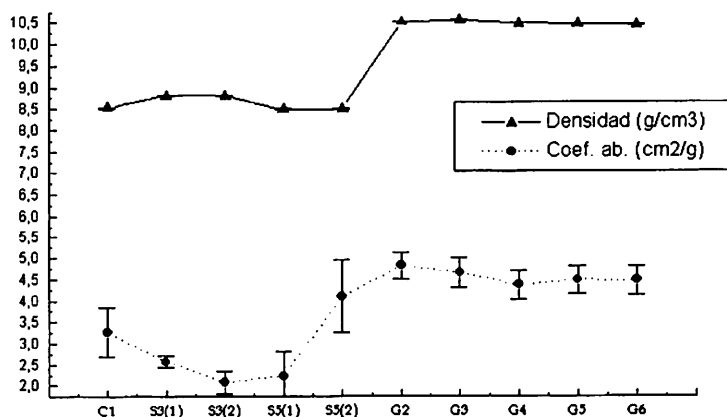


Figura 2. Representación del coeficiente de absorción másico (cm^2/g) y de la densidad (g/cm^3) de distintas monedas. Los errores producidos por la Transmisión Gamma son debidos a los relieves de la superficie de las monedas. S3 y S5 han sido medidas en dos puntos distintos.

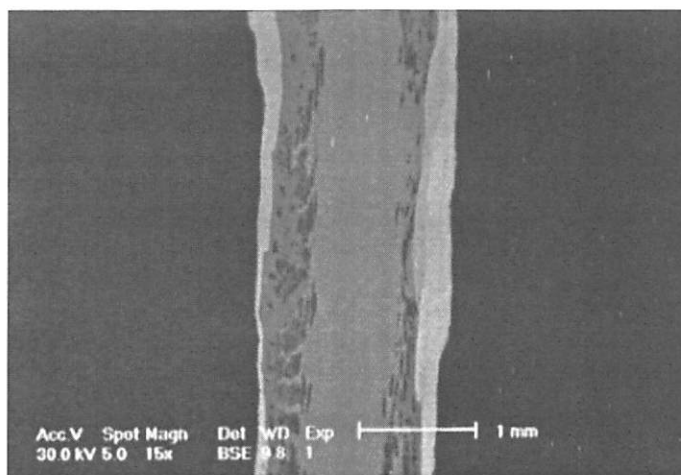


Figura 3. Corte transversal del denario S3, donde se observan las capas que lo componen.

condicionará las medidas realizadas por Transmisión Gamma y de EDXRF (en los casos en que las capas sean muy delgadas o la energía de la radiación con que excitamos muy alta).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dra. M.^a José Feliú Ortega del Departamento de Química Física de la Universidad de Cádiz el haber facilitado una de las muestras analizadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CONDOMIN, J. y PICON, M.
(1964) The influence of corrosion and diffusion on the percentage of silver in Roman denari. *Archaeometry*, N. 7, 98-107.
- [2] FELIU, M. J.; LÓPEZ DE LA ORDEN, D.; MARTÍN CALLEJA, J. y ROVIRA, S.
(1995) Fabricación de denarios forrados. Análisis y metalografía. *Anejos AEspA*. XIV, 30-32.
- [3] VAN ESPEN, P.; JANSSENS, K. y SWENTERS, I.
(1988) AXIL X-ray Analysis software. User's Manual. Camberra Packard.
- [4] FERNÁNDEZ GÓMEZ, F. y MARTÍN GÓMEZ, C. I.
(Jul-dic. 1994) El tesoro de plata de El Castillo de las Guardas (Sevilla). *Numisma*, Año XLCV, núm. 235, 7-39.

[5] PHILIP R. BEVINGTON

(1969) Data reduction and error analysis for the physical sciences. McGraw-Hill, 119-133.

[6] RESPALDIZA, M.A.; BARRANCO, F.; GÓMEZ-CAMACHO, J.; GÓMEZ-TUBÍO, B. M. y RUIZ-DELGADO, M. M.

(1990) Combining PIXE and XRF with Gamma-ray Transmission to get accurate analysis of archaeological bronzes. Nucl. Instr. and Meth. B50, 226-230.

CARACTERIZACIÓN DE LAS ESCORIAS DE HIERRO Y SU INTERPRETACIÓN EN EL CONTEXTO HISTÓRICO-ARQUEOLÓGICO

por

J. SIMÓN ARIAS¹, M. MARSAL ASTORT¹,
J. PÉREZ SUÑÉ² y J. GÓMEZ SÁNCHEZ²

RESUMEN

La morfología y el estudio arqueométrico de las escorias de hierro debe permitirnos diferenciar el estadio de la cadena operativa de la cual procede: reducción y post-reducción. Circunstancia que posibilita identificar el tipo de actividad siderúrgica llevada a cabo en el yacimiento arqueológico objeto de estudio y su implicación técnica y económica.

INTRODUCCIÓN

El hierro, desde su plena difusión y explotación en la península, constituyó una materia prima esencial para las sociedades antiguas (ibérica, romana y visigótica), pues devino un medio privilegiado para mejorar el bienestar material y de detentar el poder militar. A pesar de su importancia, la siderurgia antigua es una actividad técnica y económicamente poco conocida.

Nuestra experiencia, en yacimientos arqueológicos de diferentes épocas y en la revisión de memorias de excavación de yacimientos del noreste peninsular, nos muestra que en demasiadas ocasiones no se han identificado estructuras y espacios de trabajo, asociados a distintos modelos de hábitat (*oppida, villae, tabernae*), como instalaciones destinadas a la producción de hierro (minas a cielo abierto, hornos, talleres de forja) por no haber sido posible reconocer, documentar, cuantificar y estudiar los productos resultantes y los desechos de

1. Dpto. Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

2. Dpto. Prehistoria, Historia Antigua y Arqueología, Facultad de Geografía e Historia, Barcelona.

esas instalaciones: mineral, restos de manufacturas y muy especialmente las escorias de hierro en sus diversas formas. Siendo la consecuencia de ello que pase desapercibida y no se incluya en la valoración global del yacimiento objeto de estudio, una actividad técnica, con una repercusión económica tan importante, como fue la siderurgia en sus diversos estadios.

TIPOLOGÍA DE LAS ESCORIAS DE HIERRO ATENDIENDO A SU FORMACIÓN

Las escorias de hierro están formadas mayoritariamente por los materiales residuales resultantes de la sucesión de operaciones técnicas que integran la cadena operativa de la siderurgia antigua.

En la cadena operativa de la siderurgia antigua se producen diversos tipos de escorias con características morfológicas y estructurales distintas, consecuencia de las diferentes condiciones de formación que seguidamente explicitamos.

Escorias de reducción

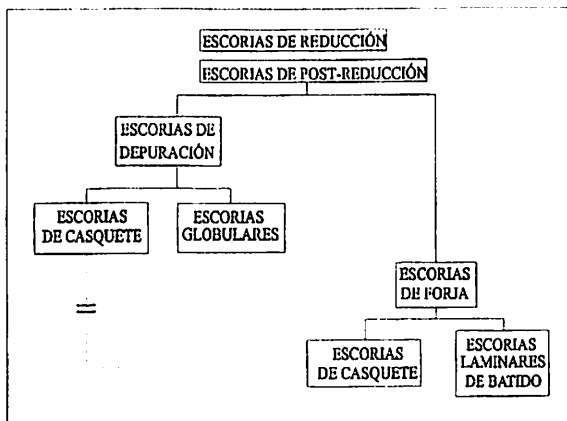
Nos ceñiremos sólo a las escorias producidas con el método directo de obtención del Fe en el horno bajo (ejemplos contemporáneos fueron la farga catalana y la ferrería vasca).

Por muy concentrado, enriquecido, que esté el mineral de hierro siempre lleva asociados otros elementos. Para la formación de Fe metal es preciso quebrar la estructura cristalina del mineral a reducir (generalmente óxidos) y arrancar los átomos de oxígeno, u otros, con el fin de liberar los átomos de hierro. Para ello se precisa: energía (combustión del carbón vegetal) y un agente reductor (elemento químico) que tenga mayor tendencia que el Fe a combinarse formando óxidos con los oxígenos disponibles en detrimento del metal. Químicamente se denomina reducción.

En siderurgia, el carbono, procedente de la combustión del carbón vegetal, representa el papel de agente reductor. Teóricamente a partir de 700 °C, el carbono, C, y el monóxido de carbono, CO, son capaces de arrancar el oxígeno del óxido ferroso, FeO. Esta reacción produce el dióxido de carbono: gas carbónico, CO₂ y el hierro metálico, Fe. A mayor temperatura, más se favorece esta reacción. Al quemarse el carbón en el horno, se libera de una parte el calor necesario y de otra el monóxido de carbono reductor. La reducción será favorecida por: una temperatura elevada, gran extensión de la superficie de contacto entre el mineral y el gas, y elevada proporción de monóxido de carbono, CO. A 700 °C el hierro está muy lejos de su punto de fusión, permaneciendo en estado sólido de igual modo que otros constituyentes del mineral. Entre los 1100-1200 °C la ganga, generalmente silíceo, que acompaña al mineral, se combina con el óxido ferroso y los restantes óxidos difícilmente reducibles a estas temperaturas, formando la escoria que funde y cuela. La fusión de la escoria se realiza al alcanzar el horno la temperatura necesaria, normalmente sin fundentes adicionales, y el flujo viscoso obtenido, rico en óxido de hierro, se

Caracterización de las escorias de hierro y su interpretación

OPERACIONES TÉCNICAS	PRODUCTO
LOCALIZACIÓN	Mineral + Rocas encajantes
EXTRACCIÓN	Mineral de primera extracción + Otras rocas
ENRIQUECIMIENTO (lavado, fragmentación y calcinado)	Mineral concentrado + Ganga
REDUCCIÓN MÉTODO DIRECTO (Horno bajo)	Esponja de hierro + Escoria de reducción
DEPURACIÓN (Primera forja)	Lingote de hierro + Escoria de depuración
FORJADO	Manufacturas + Escoria de forja



denomina escoria de colada. Ésta puede fluir al exterior (fot. 1), si el horno posee un canal para tal fin, o bien, precipitar al fondo de la cubeta del horno de reducción (fot. 2).

Escorias de depuración: de casquete y globulares

La esponja de hierro obtenida es necesario purificarla de todas las inclusiones no metálicas que lleva incorporada: escorias y carbones. Esta depuración se puede llevar a cabo calentando la esponja hasta la temperatura de fusión de la escoria en el mismo horno bajo en que ha tenido lugar la reducción y durante el siguiente proceso de reducción (tal era el caso del método catalán, conocido por «Farga Catalana») o utilizando otro horno o fragua.

Bajo la acción de la alta temperatura parte de la escoria atrapada en la esponja vuelve a fundir y cuela fuera de ésta. La restante es expulsada de la masa metálica al someterse, en caliente, al martilleo. El calentamiento y martilleo se reitera hasta haber desescorificado totalmente el metal, y haberle dado la forma de lingote o barra. Esto crea escorias de dos morfologías distintas. Si la depuración de la esponja se lleva a cabo en una forja (fragua), la escoria se ira acumulando en la parte inferior del horno, por debajo de la entrada de la tobera, tomando forma de casquete, cóncavo-convexa o plano-convexa (fot. 3).

La escoria que es expulsada de la esponja, durante el martilleo de ésta en caliente, tendrá la forma de glóbulos de pequeño tamaño. Pero su composición será la misma de las escorias de primera obtención del metal (fot. 4, izquierda).

Escorias de forja: de casquete y laminares (fot. 4).

Durante la manipulación del lingote para conformarlo en objeto, también se desprenden escorias. La conformación del objeto, generalmente, se realiza

por forja en caliente del lingote. Pero al calentar el metal, en contacto con el oxígeno del aire, se forma una película externa de oxidación. Para limpiar la superficie del metal de esa película de óxido, el herrero usaba un decapante (generalmente arena o arcilla) que extendía sobre la superficie metálica de trabajo, lo que provocaba el desprendimiento de la capa de oxidación.

Como en el caso anterior, encontraremos escorias de forja de distinta morfología. La escoria que se ha ido acumulando en el fondo de la fragua, también tipo casquete, y que puede proceder sólo de la acumulación de escorias de forja (óxido de hierro + decapante + carbón), o de las escorias procedentes de esta operación, más las escorias de la anterior operación de depuración.

También pueden desprenderse escorias fundidas en forma de gota (formadas por el óxido superficial + el decapante) que quedan diseminadas en el fondo de la fragua.

Durante la operación de martilleo, en caliente, de la pieza metálica sobre el yunque para conformarla en objeto, se desprende la película superficial de óxidos, son los óxidos de batiduras, que se esparcen por el suelo de la fragua, normalmente en forma de pequeñas y delgadas laminitas (foto 4).

METODOLOGÍA DEL ESTUDIO EXPERIMENTAL

Con todas las escorias utilizamos la misma metodología: Observación de una cara pulida, al microscopio óptico de reflexión y electrónico de rastreo. Análisis por dispersión de energía de rayos X, análisis por difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X, si es necesaria, y análisis de imagen.

Los análisis se realizan en colaboración con el equipo de difracción de rayos X del Instituto «Jaume Almera» del CSIC, dirigido por F. Plana Llevat.

La composición química de las escorias refleja el conjunto del tratamiento del cual éstos son el residuo, es decir, del mineral empleado y de la masa de hierro obtenida.

La observación microscópica permite identificar fases minerales, y dar una aproximación de la proporción en que se encuentran. También permite conocer su textura, que nos informa sobre la dinámica de cristalización. Y si hay reliquias de mineral, o de otro tipo de inclusiones.

Mediante la dispersión de energía de rayos X podemos realizar un análisis puntual cuantitativo de elementos.

Los espectros de difracción de rayos X dan las principales fases cristalinas presentes. También informan sobre la proporción cristal / vidrio que hay en la muestra.

El método de fluorescencia de rayos X nos da la composición global de los elementos presentes en la muestra.

Los fragmentos o partículas metálicas presentes, estudiados por los métodos metalográficos, nos hablan de las condiciones en que se han formado, y también de las características del material (esponja) producido durante el proceso de reducción.

MORFOLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ESCORIAS DE HIERRO

Entendemos por escoria la substancia no aprovechable, que queda después de un proceso. Puede resultar muy difícil identificar un antiguo proceso metalúrgico, pues generalmente los hornos han sido destruidos. Cuando sabemos con certeza, por los restos arqueológicos hallados, que en un determinado lugar se ha realizado alguna actividad metalúrgica, normalmente tan sólo se documentan las escorias como vestigio de esa actividad. Tholander se plantea las cuestiones siguientes: ¿Qué clase de actividad se ha llevado a término? (reducción, post-reducción, forja, afino). ¿Qué tipo de horno se ha empleado? (de taza, de cubo, horno alto). ¿Qué clase de material se ha producido? (hierro, cobre, plomo). ¿Qué cantidad de producción se ha realizado? (rendimiento del proceso). Para dar respuesta a estas cuestiones, muchas veces las escorias son el único testimonio que ha llegado hasta nosotros.

Si tenemos distintas escorias, observaremos que se diferencian unas de otras por su aspecto, forma, color y peso. ¿A qué son debidas estas diferencias?

En las **escorias de reducción**, la tonalidad variará en función de los elementos de la ganga del mineral. La morfología nos mostrará cómo se produjo su enfriamiento, pues la superficie será distinta según las escorias hayan fluido libremente, o no, fuera del horno. En el caso de haber colado fuera del horno, la superficie superior, siempre oscura y lustrosa, es lisa o formando cordones (chorretones), según el grado de viscosidad; mientras que la cara inferior es rugosa, porque es la réplica de las sinuosidades del suelo donde solidificó. Si la escoria precipitó y permaneció dentro del horno, su superficie no es lustrosa y acostumbra a tener mucha porosidad y a llevar adherida gran cantidad de carbón. No tienen una forma determinada. Pero la conducción de la operación de reducción, influye, en todos los casos, de manera esencial sobre la forma y aspecto de las escorias resultantes.

Las **escorias de depuración y de forja**, por su forma y tamaño, si se recuperan enteras, son fáciles de identificar: pequeñas (aproximadamente unos 10 cm), casi circulares y plano o cóncavo-convexas: son las escorias en forma de casquete. La superficie acostumbra a ser mate, a veces se observan unas zonas con herrumbre y otras con huellas de carbón vegetal.

Las conclusiones a que llegamos respecto a la interpretación de las escorias, son el fruto del trabajo realizado por otros autores, y de los resultados de los análisis, realizados por nosotros, generalmente, a escorias procedentes de yacimientos del noreste peninsular.

Tras lo expuesto se podría concluir que los distintos tipos de escorias son fácilmente identificables. Pero en la mayoría de las ocasiones eso no es así, siendo el principal factor que dificulta esa identificación, el estado fragmentado en que acostumbran a encontrarse en los contextos arqueológicos. Aun así, intentamos encontrar una explicación correcta haciendo un estudio sistemático, mediante el análisis químico, mineralógico, textural y morfológico. Los resultados de estos análisis han de caracterizar las escorias producidas en el curso de las distintas etapas de la cadena operativa de la siderurgia antigua.

Las escorias que pueden proporcionarnos más información sobre el proceso, son las producidas durante la obtención del hierro. Su composición química depende de: la química del mineral, del aporte de las paredes del horno y del aporte de las cenizas del carbón vegetal. Y está influenciada por la temperatura del horno y por la presión parcial del monóxido de carbono. Por tanto, su estudio permite conocer muchos parámetros del proceso: composición del mineral, temperaturas del horno, rendimiento de la operación. También las partículas metálicas que han arrastrado nos informan de la calidad de la masa de hierro producida.

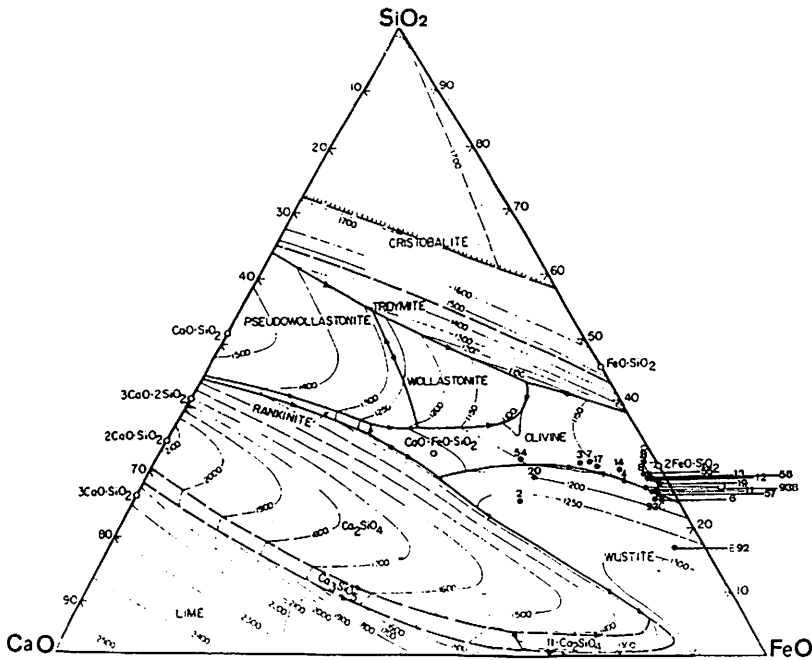
Los minerales de hierro utilizados en el método catalán deben ser en roca, ricos y fundir fácilmente. La ganga que los acompaña es silíceo. Cuando el mineral cumple estas condiciones, una escoria de reducción directa está constituida, mayoritariamente, por la reacción producida entre la wüstita (FeO) y el óxido de silicio (SiO_2) del mineral, formándose fayalita ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$), cuando se consigue la temperatura necesaria.

La escoria, explica Tholander, se forma dentro de cada pieza de mineral, y gotea a través de las grietas de las paredes de éste, precipitado al fondo del horno. También acostumbra a arrastrar microgranos de hierro, óxidos de hierro libre y/o trazas de mineral.

De los residuos de la reducción directa, las escorias coladas son las que presentan una paragénesis microscópica más homogénea (Domergue). El orden de cristalización de las fases minerales es siempre el mismo, en superficie de colada hay un borde de óxidos de hierro superior, que indica la oxidación superficial de la escoria en el momento de fluir al exterior del horno. Hacia el interior, aparecen las dendritas de wüstita que aumentan de tamaño siguiendo el gradiente térmico de solidificación. Esta wüstita libre atestigua que una parte del hierro no se ha reducido y acompaña a la escoria. La fase que cristaliza a continuación es el olivino fayalítico, el mineral dominante. Las distintas estructuras de la fayalita, equigranular, alargada o tabular son debidas a distintas velocidades de enfriamiento y a variación en la temperatura del inicio de la cristalización (Serneels). La última fase que solidifica es la intersticial vítrea, la composición de la cual es función del mineral y el carbón vegetal utilizados.

Las escorias antiguas, por sus componentes mayoritarios, podemos situarlas en el sistema $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-FeO}$. Lo ejemplarizaremos con 30 muestras estudiadas pertenecientes a un escorial del Pallars Jusa (Lérida), datado en los siglos X-XI. La mayoría se proyectaba sobre el diagrama trifásico $\text{SiO}_2\text{-CaO-FeO}$. Todas estaban cercanas a un mínimo térmico de solidificación, el canal cotéctico entre el olivino y la wüstita, agrupándose, la mayoría, cerca de la fayalita.

En el yacimiento ibérico de Les Guardies (El Vendrell, Tarragona) todas las escorias documentadas son de pequeño tamaño. Si se trata de escorias procedentes del proceso de reducción, sólo son fragmentos resultantes del troceado de escorias de mayor tamaño. Pero también podría tratarse, algunas, por su morfología, de escorias globulares de post-reducción, expulsadas de la masa de



Fe durante su purificación con el martilleo, y de escorias laminares de batidura, creadas durante la forja en caliente. Los análisis realizados con una muestra de cada una de ellas nos condujeron a concluir que todas ellas eran fragmentos de escorias más grandes procedentes del proceso directo de obtención del Fe. Las fases cristalinas presentes y su proporción confirmaron la fluidez de unas, de otras no. Un dato significativo fue la presencia de Mn, en forma de óxido, sólo en algunas escorias. Este elemento, presente en el mineral en forma de óxido, pasa total o parcialmente a la escoria, dependiendo de la temperatura alcanzada en el horno. Estos resultados podían hacer presuponer que en un mismo centro productivo se habría utilizado, para la obtención de hierro, mineral de distintas procedencias.

Si las escorias de casquete proceden de una operación de depuración, estarán formadas por: los aportes de carbón vegetal, el metal a purificar, las inclusiones escoriáceas y material de las paredes del horno. Mientras que si proceden de una operación de forja, estarán formadas por: los aportes del carbón vegetal, el metal, las paredes del horno y el decapante. Las principales características que nos ayudarán a diferenciarlas ya han estado explicitadas por distintos autores: Benoit describió las escorias de forja de los siglos XV al XVIII estudiadas por él. Serneels hizo un estudio de las escorias de forja romanas. Nosotros hemos estudiado este tipo de escorias, como son las procedentes de la Farga de Banyoles (Girona) y las escorias romanas de la *villa* de Can Feu (Sant Quirze del Vallés, Barcelona). Los estudios analíticos de estas escorias

nos han conducido a resultados coincidentes con los de los autores mencionados. Todas presentan un exceso de hierro, en estado metálico y oxidado, respecto a las escorias de obtención directa. Y, aunque están presentes las mismas fases mineralógicas que en las escorias de reducción (wüstita, olivino, vidrio) se encuentran en otras proporciones y distribuidas muy heterogéneamente. No hay continuidad en las microestructuras observadas, y los agujeros internos, no siempre están producidos por las burbujas dejadas por el gas, sino que, a veces, los forman dos superficies de solidificación que no han entrado en perfecto contacto. En dos de las escorias de casquete de la Farga de Banyoles, sólo estaba presente el hierro metálico en distintos grados de oxidación y restos de carbón vegetal. Esto nos hizo concluir que éstas se habían formado por los residuos producidos durante la confección y reparación de utensilios de hierro.

Las escorias globulares tienen la misma composición que las escorias producidas durante el proceso de reducción, pues son las inclusiones atrapadas en el metal.

Las escorias laminares de batidura están formadas básicamente por óxidos de hierro, u óxidos de hierro + sílice / arcilla, ya que provienen de la película superficial del metal.

LAS ESCORIAS DE HIERRO EN EL REGISTRO ARQUEOLÓGICO

Las escorias de hierro se localizan allí donde se ha desarrollado alguna actividad siderúrgica. En general, el beneficio del mineral y la explotación del bosque para carboneras determinaron, hasta la introducción de la fuerza hidráulica, la localización de las instalaciones para la transformación del mineral de hierro; mientras que la cercanía al consumidor determinó la ubicación de los talleres de forja para la manufactura y reparación de útiles y herramientas de hierro. Si nos ceñimos al noreste peninsular observamos que en la Antigüedad se implantaron dos modos de organización espacial de la cadena operativa.

En época ibérica se realizaría la totalidad de la cadena operativa, desde la extracción hasta la manufactura en el mismo lugar, o área próxima al lugar de hábitat. El yacimiento que mejor ejemplariza este período cronocultural es el de Les Guardies (El Vendrell, Tarragona), con una mina a cielo abierto, diversos hornos de reducción y estructuras de preparación del mineral, pero donde no se han documentado escoriales; los distintos tipos de escorias (reducción y post-reducción) de formas diversas y siempre de pequeño tamaño, lo cual sugiere una intensiva reutilización, aparecen diseminadas por el yacimiento, formando parte de pavimentos y rellenos de estratos.

En época romana, momento en que se intensifica el comercio de metales y la *villa* rústica se implanta como unidad básica de ocupación y explotación de territorio, la siderurgia surge y se desarrolla en el contexto de las *villae* como una actividad complementaria de la agricultura de exportación. Un solo yacimiento, la villa de El Vilarenc (Calafell, Tarragona) con un taller de forja formado por dos hornos elevados plantea la posibilidad de que en él se hu-

biera llevado a cabo la totalidad de la cadena operativa. Lo habitual es localizar escorias de post-reducción de pequeño y mediano tamaño, generalmente en forma de casquete cóncavo-convexo y con un canal en la cara superior, formado por el aire inducido por el fuelle cuando ésta se encontraba en estado pastoso, junto a escorias globulares de batido. Estas escorias tampoco se encuentran concentradas formando escoriales o depósitos propios del taller de forja, sino diseminadas por el yacimiento, como en las *villae* de El Tossal del Moro (Corbins, Lleida), Can Feu (Sant Quirze del Vallés) o Casablanca (Jesús-Tortosa, Tarragona). Escorias de estas características se empiezan a documentar en contextos urbanos, como es el caso de la ciudad de *Iluro* (Mataró, Barcelona) donde en una *tabernae* del cardo máximo de la ciudad se localizó un horno metalúrgico y escorias diseminadas.

En época tardorromana-visigótica la totalidad de la cadena operativa parece concentrarse en pequeños *vici* artesanales, donde la siderurgia se practicaría junto a la metalurgia del bronce y la alfarería. De este período disponemos de un yacimiento en fase de estudio, se trata de La Solana (Cubelles, Barcelona). Junto a hornos de reducción, se documentan escorias de post-reducción y forja, así como numerosos fragmentos de escorias de reducción, de nuevo siempre diseminados por diferentes ámbitos del yacimiento.

BIBLIOGRAFÍA

BENOIT, P.,

(1989) *Scories de réduction et scories de forge: approche analytique et archéologique, Archaeometallurgy of iron*. Symposium Liblice, Prague.

DOMERGUE, C. *et al.*,

(1995) Caractérisation minéralogique, géochimique et métallurgique des résidus de réduction directe, d'épuration et de forge du centre sidérurgique romain de Martys (Aude, France), *Revue d'Archéométrie*, 19, pp. 49-61.

FRANÇOIS, J.,

(1843) *Recherches sur les gisements et le traitement direct des minerais de fer dans les Pyrénées et particulièrement dans l'Ariège*, Paris, Ed. Carilian-Goeury et Dalmont.

KEESMAN, I.,

(1989) Chemische und mineralogische Detailuntersuchungen zur Interpretation eisenreicher Schlacken, *Archaeometallurgy of iron*. Symposium Liblice, Prague.

SERNEELS, V.,

(1993) *Archéométrie des scories de fer. Recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale*, Ed. Cahiers d'Archéologie romande, Lausanne.

SIMÓN, J.,

(1992) *La Farga Catalana: estudi metal·lúrgic del procés*, Societat Catalana de Tecnologia, filial de l'IEC, Barcelona.

SIMÓN, J. y PÉREZ, J.,

(1996) *Estudio de las escorias romanas encontradas en Can Feu (St. Quirze del Vallés)*, Comunicació: Lattes (Montpellier), CNRS.

THOLANDER, E.,

(1989) Microstructure examination of slags as an instrument for identification of ancient iron-making processes, *Archaeometallurgy of iron*. Symposium Liblice, Prague.



Foto 1.



Foto 2.



Foto 3.



Foto 4.

ANÁLISIS NO DESTRUCTIVO EN PIEZAS METÁLICAS DE INTERÉS ARTÍSTICO

por

María Carmen EDREIRA SÁNCHEZ, María José FELIU ORTEGA
Joaquín MARTÍN CALLEJA¹

RESUMEN

Se ha realizado un estudio de componentes químicos a partir de pocos miligramos de la pátina de unas figuras masculinas de bronce de la época fenicia, expuestas en el Museo Arqueológico Provincial de Cádiz. A partir de los datos se propone una composición de la masa metálica y se plantean hipótesis sobre la capa rojiza que cubre alguna de ellas.

Las cinco figuras objeto de nuestro estudio (figura 1) fueron halladas sumergidas en el mar en una especie de poza mezcladas con muchos otros restos, en el islote de Santi Petri de la costa gaditana. Este islote es una de las zonas que restan de la antigua isla Cotinosa, donde estaba localizado el templo de Melqart (Herákleion), primera deidad de la presencia fenicia en las islas Gadeira, que con los griegos fue asociado a Heracles y con los romanos a Hércules.

Las figuras, de una altura de aproximadamente 30 cm, presentan en algunas zonas una capa de 1 mm de espesor como máximo, de tono rojo oscuro. Las zonas de metal limpio tienen un color de cobre claro.

Dada la importancia arqueológica de las piezas, la extracción de una pequeña cantidad del metal que las forma para proceder a un análisis completo incluyendo metalografías o análisis cuantitativo de componentes resultaba problemática, así que asumimos el reto de obtener la mayor información posible de las piezas a partir de miligramos de los desprendimientos superficiales que se habían producido.

La técnica instrumental utilizada en este estudio ha sido la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) con acoplamiento de Espectrometría de Energía

1. Departamento de Química Física. Grupo de Investigación SCEM. Universidad de Cádiz.

Dispersiva de Rayos X (EDS). Se ha utilizado un microscopio Jeol 820 del Servicio de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Cádiz. La técnica permite la visualización de imágenes acromáticas, a un amplio margen de magnificación y gran profundidad de campo, de cualquier zona de interés de la superficie de la muestra objeto de estudio. Simultáneamente a la visualización, se obtienen análisis elementales en los que la intensidad de la señal correspondiente a cada elemento químico es proporcional al número de átomos presentes. Por todo ello, podemos decir que esta técnica proporciona, simultáneamente, información morfológica y composicional. Los espectros EDS proporcionan información sobre los elementos químicos presentes pero, conociendo las condiciones de análisis y el tipo de muestra en estudio, el analista puede, la mayor parte de las ocasiones, inferir la presencia de compuestos o de minerales que permiten una interpretación de la situación material de la pieza estudiada.

CONSIDERACIONES SOBRE LAS CONDICIONES DE ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS OBJETO DEL ESTUDIO

Las muestras (diez muestras correspondientes a las cinco figuras) fueron suministradas como polvo procedente de raspaduras de superficie de las piezas. Esta circunstancia condiciona la información que se puede obtener de los análisis, ya que para poder hacer una valoración cuantitativa o simplemente cualitativa, pero comparable, es preciso que las condiciones de obtención de datos sean las mismas.

En todos los espectros EDS obtenidos figura el elemento oro ya que se ha utilizado como recubrimiento para hacer la muestra conductora (requisito indispensable en muestras no metálicas). También aparece silicio debido a que figura siempre en las pátinas como elemento de incorporación externa, y corresponde a silicatos comunes que forman parte de la tierra adherida en la pátina. Los otros elementos que forman los silicatos más abundantes (Al, Mg, Ca, Fe, en distintas proporciones) estarán también presentes en menores proporciones. El resto de los elementos que aparezcan en los espectros proporcionan información sobre la composición de la masa metálica.

La composición química elemental de los granos estudiados individualmente es distinta y por ello sería aventurado dar una composición general de cada muestra a partir de los resultados individuales. A pesar de ello, hemos considerado oportuno dar la composición estimada a partir de los resultados proporcionados por un número elevado de granos de cada muestra y reflejar, si se ha detectado, cualquier elemento que resultase no común en ellos. Es de advertir la similitud de las cinco muestras en cuanto a los elementos presentes, no en cuanto a sus proporciones relativas.

Considerando que provienen de la pátina de piezas metálicas, podemos suponer que se trata de bronce con plomo ya que los análisis nos dan elementos procedentes de la oxidación de cobre, estaño y plomo. Lógicamente, la composición cuantitativa en cuanto a los metales cobre, estaño y plomo de la pátina no debe coincidir con la composición cuantitativa de la actual aleación

que forma la pieza y mucho menos con la original de su fabricación. Los metales con mayor facilidad de oxidación de un bronce son, con una clara diferencia, el plomo y el estaño, por ello es lógico que todas las muestras de pátina tengan estaño o plomo en mayor proporción que cobre. El mayor volumen de los productos de oxidación provoca la migración hacia el exterior de los compuestos formados, así que es lógico que en las zonas exteriores se acumulen compuestos de plomo y estaño en mayor proporción que los de cobre.

Una consideración aparte merece la presencia del elemento hierro en todos los espectros y en distintas proporciones. Es cierto que en todos los análisis de pátinas de piezas arqueológicas se detecta la presencia de este elemento, casi siempre asociado a la presencia de silicio, aluminio, magnesio y calcio. El hierro es uno de los elementos más frecuentes en las tierras, ya sea en forma de óxidos o formando parte de varios tipos de silicatos y por ello suele estar presente en las pátinas. Lo distinto de la pátina de estas piezas respecto a otras estudiadas por nuestro equipo es la gran proporción de este elemento en algunos de los espectros, que no puede deberse sólo a una incorporación externa de tierras. Una posible explicación es que el hierro formara parte del metal que forma la pieza, pero ya que se trata de un bronce la situación sería inusual, otra posible explicación es que la pátina se haya formado sobre un recubrimiento intencionado que contuviera hierro en su composición y una tercera es que, si esta pieza ha estado sumergida en agua durante mucho tiempo, en contacto con otras piezas que contuvieran hierro, los procesos electroquímicos que implican el depósito de hierro oxidado sobre la pieza de cobre, hayan sido muy favorecidos. Sería preciso realizar estudios más amplios de estas piezas para poder concluir con un mayor número de datos y no sólo a partir de algunos miligramos de pátina.

Otra de las consideraciones a realizar consiste en justificar la presencia de arsénico en pequeñas y variadas proporciones. Se detectan cristales de arsénico y estaño cuyo origen es imposible presumir solamente con los datos de análisis. Podemos fácilmente suponer que la pieza es de una aleación de bronce plomado, pero podría ser aventurado afirmar que dicha aleación tiene arsénico como impureza. Sin embargo, ésta es la única posible interpretación a falta de datos sobre la historia de la pieza desde el momento de su fabricación, que justifique la incorporación de estos elementos desde el exterior.

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN LAS PIEZAS

El contenido de cobre, estaño y plomo en distintas proporciones y en forma oxidada formando óxidos, sulfuros o sulfatos y posibles carbonatos y, además, la presencia en algunos casos de arsénico nos indican que la pieza metálica es un bronce con pequeñas proporciones de plomo y como impureza arsénico (figura 2). Resulta problemático interpretar la elevada proporción de hierro que no puede deberse exclusivamente a su participación en los silicatos comunes que se suelen incorporar a las pátinas, suponemos que pertenece a la capa rojiza antes citada, que se observa de forma microscópica (figura 3). Es

de hacer notar la ausencia de cloruros en estas pátinas. Los cloruros de cobre son compuestos cristalinos que hemos identificado muy frecuentemente en las pátinas de zonas marítimas como lo es Cádiz.

Como resumen diremos que estas piezas tienen: masa metálica de bronce con plomo y arsénico como impureza, recubrimiento parcial de óxidos de hierro y pátina formada por óxidos, sulfatos o sulfuros, y algunos carbonatos, de cobre, estaño y plomo

INTERPRETACIÓN DEL ORIGEN DE LA CAPA ROJIZA DE LAS PIEZAS

Tres son las hipótesis que nos hemos planteado sobre el origen de la capa roja que cubre parcialmente alguna de las piezas.

Primera hipótesis: Aleación Bronce-Hierro.

Hemos intentado reproducir una aleación cobre-hierro en el laboratorio, mezclando cobre fundido con hierro en polvo hasta conseguir una masa homogénea. El análisis EDS de la masa metálica resultante nos dio 10% de hierro. Un fragmento cortado se expuso al aire durante cinco meses y el otro se introdujo en agua salada. El primer fragmento apenas se alteró y el segundo mostró nódulos de óxido de hierro que cubrían progresivamente la superficie (figuras 4 y 5).

Esta hipótesis está apoyada en la bibliografía por el comentario que figura en la obra de Plinio sobre una estatua realizada con cobre y hierro para aumentar el color rojizo y por el hecho de existir unas figuras semejantes en Huelva de las que la Dra. Gamer-Waller (citada en Blanco Ferreiro, 1985) supone que podrían ser de hierro por el aspecto externo, pues no se habían realizado análisis.

Segunda hipótesis: Capa formada por alguna pintura sobre la masa metálica.

No podemos defender esta hipótesis con ninguna prueba, es más, consideramos imposible que cualquier pintura de color rojo de las conocidas entonces pudiera resistir tantos años sumergida en el mar.

Tercera hipótesis: Depósito electrolítico.

Realizamos un ensayo poniendo en contacto objetos de cobre con clavos de hierro, sumergidos en agua salada. Al cabo de varios meses la zona del clavo en contacto con el cobre estaba más oxidada que el resto (figura 6) y sobre el cobre de la misma zona se había depositado una capa de óxido de hierro. El resto del objeto de cobre estaba cubierto por sales producto de la oxidación del cobre (figura 7). El hierro ha actuado como ánodo de sacrificio frente al cobre.

La observación microscópica (SEM) de las cristalizaciones de óxidos y cloruros de hierro formadas en nuestro ensayo son semejantes a las observadas en alguno de los granos de la pátina de las figuras (figuras 8 y 9).

Es muy posible que durante los años transcurridos desde que fueran arrojadas al mar, estas figuras estuvieran en contacto con objetos de hierro ya que

fueron encontradas en una poza con otros muchos restos. Algunas de ellas tienen pernos de hierro donde según BLANCO se engarzaban los brazos actualmente inexistentes.

Cualquiera de las hipótesis 1 y 3 podría ser posible a nuestro parecer, sólo con un análisis del interior de la masa metálica podría inclinarnos por una u otra.

BIBLIOGRAFÍA

- BLANCO FREJEIRO, A.,
(1985) Los nuevos Bronces de Santi Petri. *Boletín de la Real Academia de la Historia*. p. 207-216.
- LOMAS, F. J., y SÁNCHEZ SAUS, R.,
(1991) Entre la Leyenda y el Olvido. *Historia de Cádiz*. Vol.1. Sílex.
- PLINIO,
Historia Natural. Libro XXXIV, XL
- ROVIRA, S.; MONTERO, I.; CONSUEGRA, S.,
(1988) *Archaeometallurgical study of palmela arrow heads and other related types*. Atti del Colloqui Internazionale di archeometallurgia. Bolonia 1988.
- ROVIRA, S.,
(1990) Técnicas de Investigación Arqueometalúrgica. *Ciencias y Técnicas al Servicio de la Investigación Arqueológica*. Fundación F. «Giner de Los Ríos».

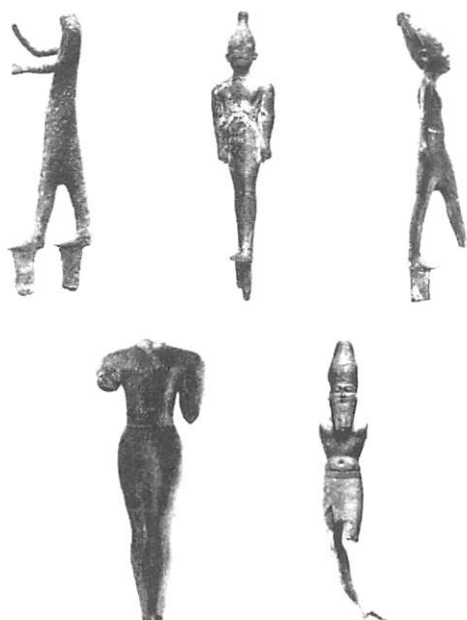


Figura 1. Las cinco figuras encontradas en el islote Santi Petri. Cerca de la cintura se ha observado la capa de recubrimiento de color rojo oscuro.

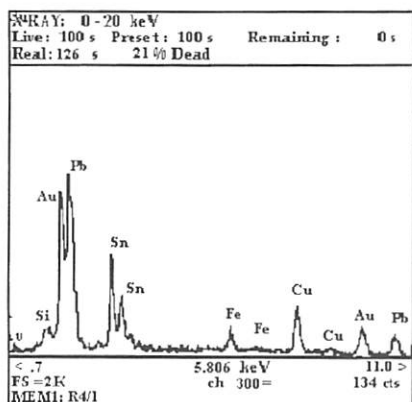


Figura 2. Espectro EDS representativo de los elementos presentes en las muestras.

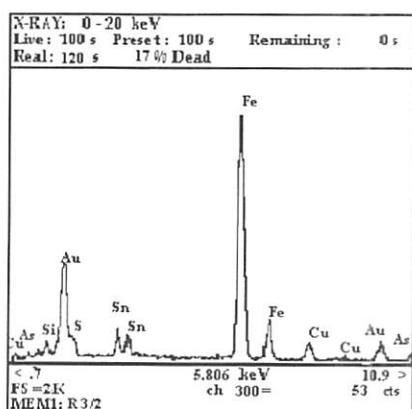


Figura 3. Espectro EDS mostrando la elevada proporción de hierro y otros de los elementos presentes.

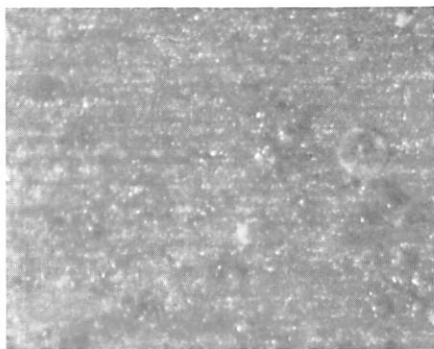


Figura 4. Imagen en la que se observan los nódulos de óxido de hierro que cubrían la superficie en una aleación de cobre y hierro sumergida en agua salada.

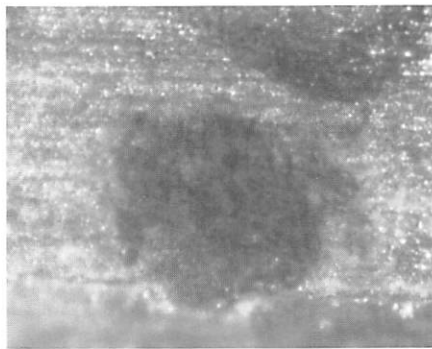


Figura 5. Ampliación de la imagen de la figura 4, en la que se observan dichos nódulos de óxido de hierro.

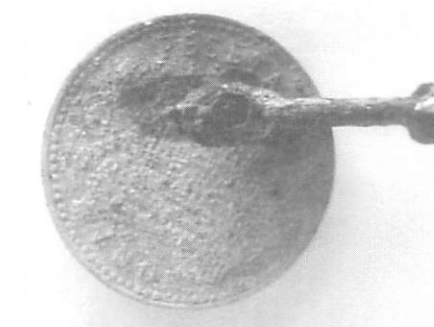


Figura 6. Imagen en la que se observa la mayor oxidación de hierro en la zona de contacto con el cobre.



Figura 7. Imagen en la que se observa el objeto de cobre cubierto por sales producto de la oxidación del cobre.

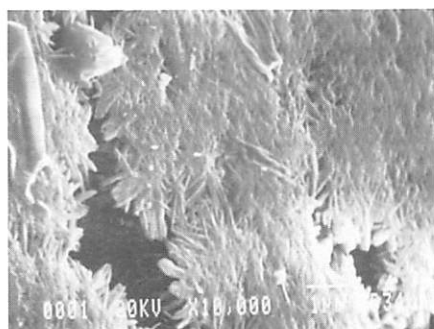


Figura 8. Imagen obtenida por SEM en la que se observa las cristalizaciones de los óxidos de hierro.

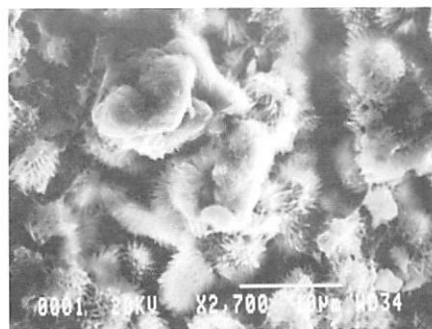


Figura 9. Imagen obtenida por SEM en la que se observa las cristalizaciones de los cloruros de hierro.

PHOSPHORUS IN THE «BLOOMERY IRON» PROCESS

por

A. VIZCAÍNO¹, I. J. MCCOLM² and J. G. MCDONNELL¹

ABSTRACT

Iron ores in Britain and many parts of Europe, are commonly rich in phosphorus, and «Bog ores» are thought to have been widely exploited in pre-historic and early historic ironmaking, using the direct reduction or «bloomery» process. Phosphorus is an abundant element in earth, mainly occurring as phosphate minerals such as apatite and various iron phosphates. This work is an experimental investigation of the reduction mechanism of P-rich iron ores under controlled laboratory conditions. The reducibility of iron phosphate and apatite was studied by using DTA/TG and X-ray diffraction. Additionally, experimental reductions of synthetic ores using conditions determined by the thermal analysis gave samples suitable for optical and SEM microscopy.

INTRODUCTION

Various metallurgical analyses of ferrous artefacts have demonstrated the widespread occurrence of phosphorus in iron alloys (McDonnell, 1992). This leads to the conclusion that early smiths could manufacture and manipulate alloys of relatively high phosphorus content (up to 1wt.%P). Nevertheless, metallurgical studies of modern steels indicate that phosphorus introduces brittleness to the iron/steel (Hopkins, and Tipler, 1958; Honeycombe and Bhadeshia, 1981).

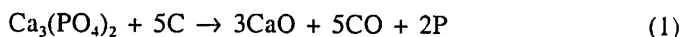
The presence of phosphorus in bloomery iron has been identified almost exclusively by reference to the characteristic «Ghosting» pattern. However, a much wider range of microstructures of phosphorus in iron and steel can be obtained. These can be explained in terms of competing solid-state diffusion processes (Vizcaíno, 1997a).

1. Archaeological Sciences Department. Bradford University (UK).

2. Industrial Technology Department. Bradford University (UK).

Early iron bloomeries are characterised to work at non-equilibrium conditions, at relatively low temperatures (up to 1200-1300°C) and under lightly reducing atmospheres (Crew, 1991). Due to these conditions, many minor elements present in the gangue, in particular phosphorus, were partitioned between the metal and the slag during the «bloomery process».

It is commonly considered that phosphorus in iron is a product of apatite reduction, because apatite minerals are very common and often occurring in known iron ore deposits (Corbridge, 1995). However, the modern literature on phosphorus manufacture from apatite emphasises that the reduction via carbon is a very high temperature process, up to 1500°C (Jacob and Reynolds, 1928; Hussein *et al.*, 1974). The overall reaction suggested for apatite decomposition is summarised as:



With silica present, there is a decrease in the reduction temperature which might bring it down to the temperatures available in the bloomery technology of the late Iron Age to Medieval times. However the temperature to which the reaction is lowered is not universally agreed (Van Wazer, 1961; Leder *et al.*, 1989).

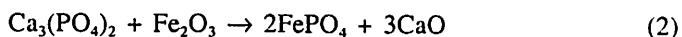
APPROACH

Based on the present knowledge about the reduction of phosphates and considering equilibrium-based processes, the behaviour of phosphorus in bloomery iron cannot be adequately explained. Either the iron makers could produce much higher temperatures than previously thought or phosphorus containing phases are the reduction product of some other phosphate mineral.

Iron phosphate: the source of phosphorus in Bloomery Iron?

- Iron phosphate minerals (e.g. vivianite, $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) are commonly present in secondary iron ore deposits, for example bog ores (Nriargu and Dell, 1974; Vizcaíno 1997b).
- Iron phosphate is an intermediate product of the reaction of apatite with iron or iron oxides.

The possibility that apatite occurring in iron ores can react with the iron oxides once it is charged in the bloomery furnace, has been suggested in passing by Saba *et al.* (1982). He noted that iron oxide additions enhance the reducibility of the phosphate ore in a phosphorus manufacturing plant at temperatures around 1200°C. These temperatures are relatively low and therefore may have significance with respect to early iron manufacture. It has been a useful extension of these studies to read the literature concerning the manufacture of phosphorus as well the work done with phosphorus as a contaminant in iron production. Saba's work is summarised in equation (2):



Equation (2) leads to iron phosphate which is then further reduced by C to iron phosphide, which may decompose to lower phosphides with the liberation of phosphorus.

Localised conditions in a relatively large scale, but low technology, process (bloomery) can produce results that represent non-equilibrium situations. Therefore more careful examination of the thermal behaviour of hydroxyapatite/C/CO and iron phosphate/C/CO systems is worthwhile. In the present research a thermal analysis study, using sensitive combined DTA/TG equipment combined with x-ray analysis, has been carried out at lower bloomery temperatures under different reducing atmospheres. The results suggest that apatite does not have a direct affect on the low temperature inclusion of phosphorus, but plays an important role via iron phosphate produced in-situ from apatite-iron oxide reactions.

EXPERIMENTAL

A summary of the experiments undertaken in this work is shown in Table 1.

Table 1. Summary of the experiments.

	Thermal Analysis	Experimental "Direct" Reductions
Apparatus	Stanton Redcroft STA-780 combined DTA/TG	-Carbolite-OFM2 ELP and a fused quartz reaction tube -Carbolite-1400-RHF-14/3, muffle furnace
Chemical Compounds	$\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$ $\text{FePO}_4 \cdot 2.6\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (*) $\text{FePO}_4 \cdot 2.6\text{H}_2\text{O} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (*)
Atmospheres	C, CO, C+CO mixture	C, CO, C+ CO mixture
Temperature	up to 1000°C	up to 1200°C
Heating rates	10-40°Cmin ⁻¹	10°Cmin ⁻¹
Flow rate	40cm ³ min ⁻¹	125cm ³ min ⁻¹
Cooling rate	Natural cooling	Variable

(*) Overall percentage of phosphorus up to 3%.

Each sample from these experiments were analysed using the following techniques:

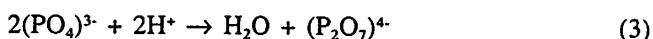
- **X-ray powder diffraction** patterns were obtained from a Hägg-Guinier focusing camera EXPECTRON XDC-700, using Cu K α_1 radiation.
- **Scanning Electron Micrographs** were made on a Jeol 6400. EDX facility was available and used to determine phosphorus contents.

RESULTS

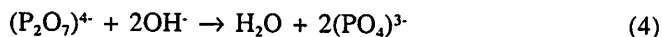
1) Hydroxyapatite/C/CO – System

- The thermal analyses and experimental «direct» reductions confirmed the high stability of hydroxyapatite at high temperatures under the experimental reducing conditions.
- Hydroxyapatite and/or apatite are not directly responsible for the presence of the recorded contents of phosphorus in ferrous artefacts.

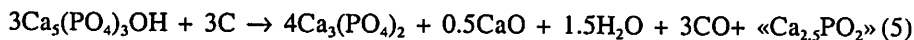
The thermal analysis results show that up to 1000°C all the changes are in accordance to the **dehydroxylation behaviour of hydroxyapatite** (see Fig. 1), and help to confirm the mechanisms suggested in the past (Bett, *et al.*, 1967), which are summarised in equations (3) and (4). It is suggested that hydrogen present in hydroxyapatite samples, to balance Ca^{2+} vacancies, is removed at 500°C with formation of pyrophosphate units:



These units are responsible for dehydroxylation beginning at 800°C according to the scheme:



The X-rays results suggest an overall reaction (i.e., when the experiment was carried out in charcoal):



The results here give a consistent suggestion that even at low temperatures a very slow reaction between $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ and reducing atmospheres may be occurring. However, this is not sufficient to explain the high levels of phosphorus present in the large number of ferrous artefacts. Therefore, a more efficient reduction reaction path needs to be suggested.

2) Iron phosphate/C/CO — System

- The overall results are strong evidence for an easy reduction of FePO_4 with C and local CO atmospheres.
- The thermal analyses show a low temperature liquid phase 755-923°C which is able to be more rapidly reduced to Fe_3P (e.g. see Fig. 2).
- This would account for the high levels of phosphorus detected in bloomery iron if an iron phosphate phase was present in the ore.

The DTA and X-ray results for the iron phosphate/C/CO — System are shown in table 2.

The results of the experimental «direct» reductions indicate that a phosphorus-rich liquid phase does coat grains at some stage in the process. After longer heating time and subsequent slow cooling, this liquid phase can result to Fe- Fe_3P eutectic at the ferrite grain boundaries (e.g. Fig 3).

Table 2. Summary of the DTA peaks for $\text{FePO}_4 \cdot 2.6\text{H}_2\text{O}$, in static air, CO, and C/CO; including the X-ray diffraction results.

	Reaction (exothermic, °C)	Crystallisation (endothermic, °C)	Melting (endothermic, °C)	X-rays of the resulting sample
Air	654	680	866	- FePO_4 , tetragonal ($a=11.00\text{\AA}$, $c=5.315\text{\AA}$) -unknown tetragonal phase ($a=10.48\text{\AA}$, $c=5.83\text{\AA}$)
CO	548	593	923	- $\text{Fe}_3(\text{P}_2\text{O}_7)_2$, tetragonal ($a=12.54\text{\AA}$, $c=6.92\text{\AA}$) - $\text{Fe}_3(\text{P}_x\text{C}_{1-x})$
C/CO	438	557	755 820 844	$\text{Fe}_3(\text{P}_2\text{O}_7)_2$, $\text{Fe}_3(\text{P}_x\text{C}_{1-x})$

CONCLUSIONS

- Phosphorus can occur in different mineral forms in the iron ores.
- The reactivity of the phosphate minerals at different temperatures and reducing atmospheres are quite variable. This observation shows that the localised environments throughout a heavily charged furnace will give non-equilibrium conditions.
- There is no simple relation between %P in the ore and %P in the metal.
- The hydroxyapatite reaction shows a much slower reduction rate under the different reducing environments than iron phosphate.
- Iron phosphate minerals, commonly present in secondary ores, e.g. bog ores, account for the high levels of phosphorus detected in bloomery iron.
- This might also explain why high phosphorus bloomery iron artefacts are not universal but concentrated in some regions.
- Apatite does not have a direct affect on the low temperature inclusion of phosphorus, but plays an important role via iron phosphate produced in-situ from apatite-iron oxide – iron metal reactions.
- The presence of transient, P-containing, liquid phases that are present within the iron grains, provides a «window of opportunity» for pseudo-ductile smithing.
- This results shows that a critical «time-temperature-window» is available for easy forming followed by a high temperature tempering stage to gain the advantages of higher hardness in phosphorus-rich irons for ores charges having, or being able to produce *in situ*, iron phosphates.

REFERENCES

- BETT, J. A. S.; CHRISTNER, L. G.; HALL, K. W.
(1967) Studies of the Hydrogen Held by Solids. XII. Hydroxyapatite Catalysts.
Journal of the American Chemical Society, 22: 5535-5541.

- CORBRIDGE, D. E. C.
(1995) *Phosphorus. An outline of its Chemistry, Biochemistry and Technology*. Elsevier. Oxford.
- CREW, P.
(1991) The experimental production of prehistoric bar iron. *Journal of the Historical Metallurgy Society*, 25(1): 21-36.
- HONEYCOMBE, R. W. K. and BHADESHIA, H. K. D. H.
(1995) *Steels. Microstructure and properties*. Second edition. Edward Arnold Ltd. London.
- HOPKINS, B. E. and TIPLER, H. R.
(1958) The effect of phosphorus on the tensile and notch-impact properties of high-purity iron and iron-carbon alloys. *Journal of the Iron and Steel Institute*, 188: 218-37.
- HUSSEIN, M. K.; KOLTA, G. A.; SABA, A. E.; EL ROUDI, A. M.
(1974) Kinetics of calcium phosphate reduction by carbon. *Thermochimica Acta*, 10: 175-186.
- JACOB, K. D. and REYNOLDS, D. S.
(1928) Reduction of Tricalcium Phosphate by Carbon. *Industrial and Engineering Chemistry*, 20(2): 1204-1210.
- LEDER, F.; REISS, H.; JACOB MU; MEGY, J.; HARD, R. A.; WON C. PARK
(1989) Reduction of phosphate ore by carbon: part II. Rate limiting steps. *Metallurgical Transactions*, 17-B: 869-877.
- MCDONNELL, J. G.
(1992) The Metallurgical Analysis of the Ironworking Slags and Iron Artefacts. In: Ottaway P. (Ed.), *Anglo-Scandinavian Ironwork from Coppergate*. York Archaeological Trust. York.
- NRIAGU, J. O. and DELL, C. I.
(1974) Diagenetic Formation of Iron Phosphates in Recent Lake Sediments. *American Mineralogist*, 59: 934-946.
- SABA, A. B.; KOLTA, G. A.; EL-ROUDI, A. M.
(1982) Effects of iron additions on the reduction of a phosphate ore by carbon. *Transactions-institut min. metall.*, sect C 91: 129-131.
- VAN WAZER, R. J.
(1961) *High temperature phosphates. Phosphorus and its compounds 2*. Interscience Publishers. New York, London.
- VIZCAÍNO, A.; BUDD, P.; MCDONNELL, J. G.
(1997a) An experimental investigation of the behaviour of phosphorus in bloomery iron. *Bulletin of the Metals Museum of the Japan Institute of Metals*. (In press).
- VIZCAÍNO, A.
(1997b) An investigation of the behaviour of phosphorus in the production of bloomery iron. Ph.D. thesis. Department of Archaeological Sciences. University of Bradford.

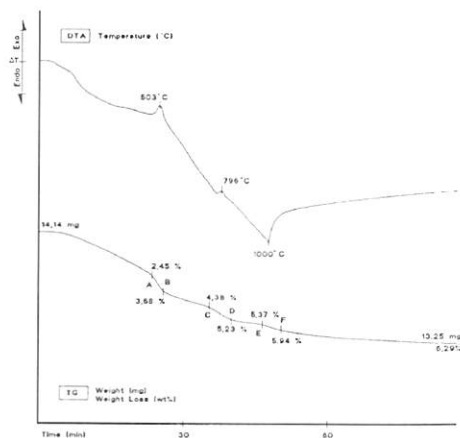


Figura 1. DTA/TG scan of hydroxyapatite + charcoal in carbon monoxide.

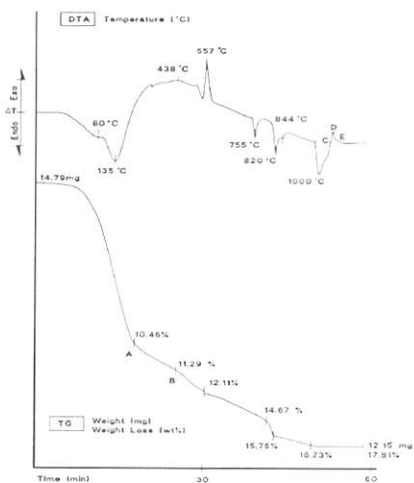


Figura 2. DTA/TG scan of $\text{Fe PO}_4 \cdot 2.6 \text{ H}_2\text{O}$ + charcoal in carbon monoxide.

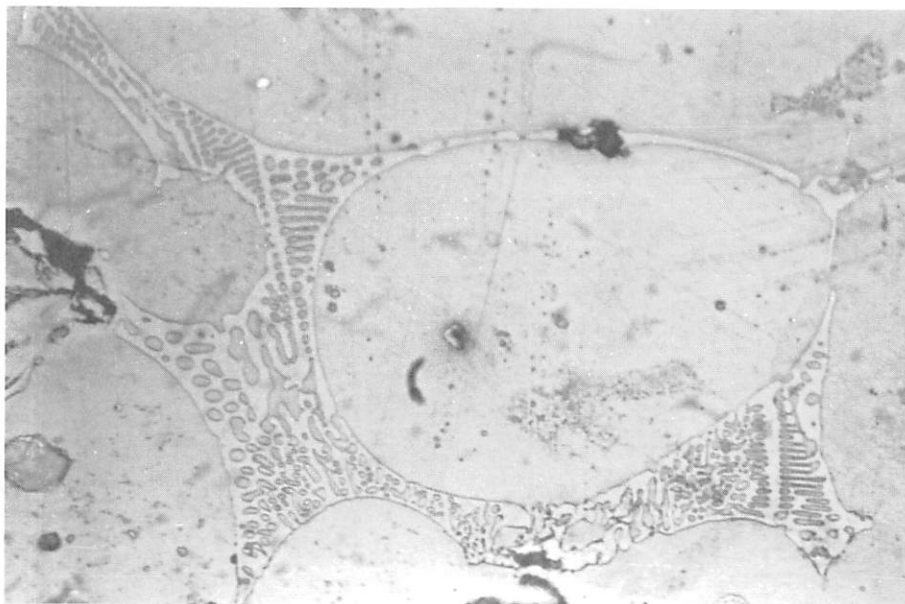


Figura 3.

LA BASE DE DATOS AU PARA EL ESTUDIO DE LOS ÁMBITOS TECNOLÓGICOS EN PREHISTORIA

por

Óscar GARCÍA VUELTA (U.C.M.) y Alicia PEREA¹

RESUMEN

En el ámbito del Proyecto de Investigación AU, y desde el paradigma de la Arqueometalurgia del Oro, se presenta la Base de Datos AU, se explica su estructura, planteamiento teórico y perspectivas de Futuro.

Claves: Antropología de la Técnica, Arqueometría, Bases de Datos, Oro, Arqueometalurgia.

Como se puso en evidencia a lo largo de las distintas sesiones científicas de esta reunión, la Arqueometría supone un prometedor campo de investigación que ofrece ya importantes avances en el conocimiento de nuestro pasado. En el convencimiento de la validez de esta línea de investigación, y partiendo del supuesto teórico de que el conocimiento de las sociedades es el objetivo último en un estudio tecnológico en Prehistoria, el Proyecto AU se propone, desde el paradigma de la Arqueometalurgia del oro, crear unas bases teóricas, metodológicas y analíticas adecuadas que permitan identificar, establecer la génesis, y delimitar la interacción entre los distintos ámbitos tecnológicos de la Prehistoria de la Península Ibérica.

El trabajo que aquí se presenta expone una de las primeras actuaciones que desde su estrategia de investigación a corto, medio y largo plazo se plantea como fundamento del Proyecto «Base de Datos Microscópica y Microanalítica para el Estudio de los Ámbitos Tecnológicos en Prehistoria. Cambio y Transmisión en Metalurgia del Oro», financiado por la Dirección General de Investigación Científica y Técnica del Ministerio de Educación y Cultura (PB 94-0129), la base AU recoge los datos de contextualización arqueológicos, así como los resultados de los análisis topográficos y microestructurales realizados desde nuestro equipo de investigación en un extenso conjunto de piezas de orfebrería prehistó-

1. Departamento de Prehistoria, C.E.H., C.S.I.C.

rica, y crea un banco de información susceptible de ser utilizado en un estudio social y tecnológico de las sociedades que las hicieron posibles.

Los trabajos para la elaboración del planteamiento conceptual y la organización del sistema de acceso a la información comenzaron en el año 1996 a partir de los trabajos previos de Alicia Perea, y se amplían con la incorporación al equipo de investigación de Óscar García Vuelta en marzo de dicho año la labor de diseño y puesta en práctica posterior se ha desarrollado en el Departamento de Prehistoria del Centro de Estudios Históricos (C.E.H.), C.S.I.C. de Madrid en colaboración con el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (C.E.N.I.M.), C.S.I.C. de Madrid donde se realizan los trabajos analíticos y micrográficos que suponen una de las bases más importantes de nuestra metodología de trabajo.

1. NATURALEZA Y ESTRUCTURA DE LA BASE AU

La base AU presenta información en función de criterios de respeto a la individualidad del objeto en un contexto arqueológico y social determinado; se basa en la asociación del dato analítico a su imagen estructural correspondiente. Esta metodología, ya expuesta en trabajos anteriores (Perea, 1997), se divide en dos fases:

La fase *Topográfica*. Que estudia las huellas de trabajado, macro y microestructuras superficiales del metal mediante microscopía óptica y electrónica de barrido.

La fase *Microanalítica*. Que se centra en la caracterización química de la pieza, y usa como herramienta de trabajo la microsonda electrónica y el análisis por dispersión de energías.

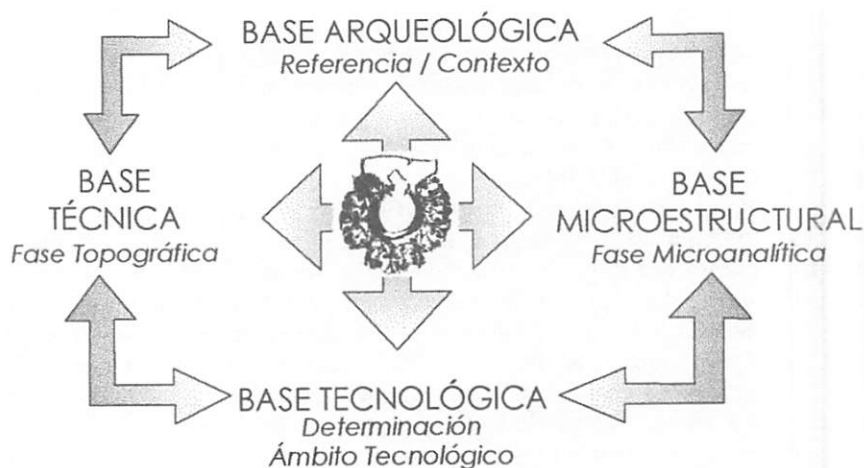


Figura 1. Esquema Metodológico de la Bases Principales.

Una vez caracterizada morfológica y químicamente, la pieza se contextualiza arqueológicamente en relación a un Entorno Tecnológico; esta información se recoge en el apartado que definimos como *Arqueológico*, quedando pendiente a la espera del contraste de los datos un cuarto bloque *Tecnológico* que arroje la síntesis de todas las informaciones anteriores para una determinación global a nivel suprarregional. La base AU se concibe, pues, como un proceso continuo de intercambio de información entre sus diferentes apartados; a partir de un trabajo previo de seriación, tipología, analítica y fotografiado de las piezas, el diseño del banco de datos queda expuesto en cuatro bases principales (*Arqueológica*, *Técnica*, *Microanalítica* y *Tecnológica*), existiendo dos bases complementarias que recogen toda la información bibliográfica y fotográfica, la relación de todas ellas a partir de una pieza particular de estudio configura el esquema general de la base.

1.1. Estructura de las Bases Principales

La Base Arqueológica

Recoge la identificación, clasificación y contextualización arqueológica de la pieza; supone una primera fase de estudio general, a la vez que un complemento de referencia de los estudios Topográfico, Microanalítico y Tecnológico que se desarrollan en las restantes bases principales. Podemos dividir esta base en dos grandes apartados, uno de Referencia y otro de Contexto y Asociación arqueológica, que presentan a su vez diferentes niveles de información.

En el apartado de *Referencia* los datos se presentan en distintos bloques; en un primer nivel de *Identificación del objeto*, se expone la seriación y denominación de la pieza junto a una imagen general de la misma y un rango que remite al apartado de Contexto.

El segundo bloque, de *Localización y Hallazgo*, informa sobre la ubicación previa y actual del objeto, y pasa después a exponer su hallazgo con referencia a Tipo y Forma del mismo. La *Clasificación Tipológica* es expuesta en un tercer nivel en atención a criterios morfológicos (Perea, 1991), y un cuarto bloque de información ofrece los resultados del *Estudio cronológico*, presentando la datación absoluta y relativa de la pieza; por último, la determinación de los *Materiales de fabricación* se exponen en un quinto bloque que se complementa con la *Referencia bibliográfica* de consulta sobre el hallazgo o sus diversos aspectos de estudio.

El apartado de *Contexto y Asociación arqueológica* presenta tres unidades de valor y fiabilidad del dato arqueológico que recoge, así la *Unidad Asociativa 1*, presenta las asociaciones directas y primarias del objeto con otros objetos en relación a una estructura donde la coyuntura del abandono y la coyuntura del hallazgo coinciden. La *Unidad Asociativa 2* recoge asociaciones de tipo secundario entre el objeto y otros objetos, donde la coyuntura del abandono y el hallazgo pueden haber sido alteradas. Los objetos asociados se sitúan en una estructura más amplia como el propio yacimiento o un determinado nivel estratigráfico. La *Unidad Asociativa 3* es el nivel más general de infor-

mación, y se refiere al contexto tecnológico con el que se puede asociar el objeto, en relación a un determinado ámbito cultural o cronológico, su determinación es independiente de cualquier estructura.

La Base Técnica

La base técnica corresponde a la *Fase Topográfica* de nuestro trabajo, en la que la pieza es investigada a través de un análisis detallado de sus elementos estructurales. La base se divide en varios apartados; en primer lugar, se presentan los datos de *Seriación* de la pieza junto a una imagen macro del objeto que recoge el conjunto de los elementos a investigar, un primer bloque de información expone los datos de *Medidas y Pesos* del objeto en relación a los del conjunto del hallazgo (Materiales de Asociación Directa). Un segundo nivel presenta de forma individual las *Técnicas de Fabricación* estructurales y ornamentales, aportando datos sobre la presencia/ausencia de *Elementos Estructurales* detectables y dando acceso a los mismos mediante pantallas derivadas donde se cuantifica y describe cada elemento, presentando una imagen del mismo junto con el estudio de sus técnicas de fabricación. El tercer bloque expone los resultados de los *Estudios Analíticos Anteriores*, con datos de interés sobre los mismos (Equipo, metodología, bibliografía, etc.). Para concluir, un cuarto bloque ofrece la información sobre *Huellas de Desgaste y Estado de Conservación*, incluyendo también datos de los posibles *Tratamientos Previos* (Limpieza, Pegado, etc.) a los que pudiese haber sido sometida la pieza.

La Base Microestructural

Esta base corresponde a la *Fase Microestructural*, en la que se combina la *Identificación y Seriación* de las diferentes microestructuras con un *Estudio Analítico* mediante microscopía electrónica de barrido y microanálisis por dispersión de energías para la determinación química de las distintas estructuras de la pieza o fragmento en general. Se divide en dos apartados principales (*Estudio Microestructural y Estudio de Medidas*), que parten de una pantalla principal sin imagen en la que accedemos a los datos de cuantificación de microestructuras, análisis realizados y micrografías obtenidas en el proceso de estudio.

En el *Estudio Microestructural* las diferentes microestructuras son expuestas de forma independiente en relación a su imagen microanalítica y los datos de los análisis realizados; es posible el acceso directo al estudio comparativo de analíticas de una microestructura con otras microestructuras o respecto al conjunto de la pieza.

El *Estudio de Medidas Microestructurales* accede al estudio métrico de la microestructura en relación con el promedio de medidas de la pieza. La información presentada en esta base se complementa con accesos directos que permiten comparar los resultados de las analíticas efectuadas con los obtenidos por otros equipos de investigación.

1.2. Estructura de las Bases Auxiliares

La Base Fotográfica

Tiene como objetivos principales la gestión y estudio de los distintos repertorios fotográficos y actuar como servidor de imagen en las distintas bases. El archivo fotográfico vinculado a esta base está dividido en dos grupos independientes: imágenes Topográficas y Conjunto (Bases Arqueológica y Técnica) e imágenes Micrográficas (Base Microanalítica).

Mediante un menú de pantalla la base fotográfica hace posible la presentación de las series fotográficas junto a sus datos de seriación, tamaño, características, paso de visualización, captura y almacenamiento, vinculando éstas con los objetos de estudio y permitiendo la edición mediante software específico para posibles tratamientos.

La Base Bibliográfica

Recoge la referencia bibliográfica de las piezas presentadas en la base AU como complemento o ampliación a su estudio, y ofrece al investigador un abundante aparato de referencia en las disciplinas de Arqueometalurgia y Antropología de la Técnica aplicada a la metalurgia; es accesible desde cualquiera de las bases y se organiza en dos apartados vinculados; una *Base de Referencia*, que posibilita de una forma rápida la búsqueda y consulta de las referencias, y una *Base de Publicaciones*, que recoge un amplio conjunto de publicaciones periódicas, colecciones y noticia de reuniones especializadas en las disciplinas que conforman los distintos apartados del Proyecto.

Perspectiva de Futuro y Estado Actual de la Investigación

La amplitud del esquema de investigación planteado en el Proyecto AU para la determinación de Ámbitos Tecnológicos en Prehistoria, y la propia complejidad de la información, hacían necesaria la creación de un banco referencial de datos arqueológicos, técnicos y analíticos en Arqueometalurgia del Oro, un banco que tuviera la posibilidad de crecer y enriquecerse con la experiencia de los distintos grupos de investigación, abierto a discusión, y realizado desde el rechazo al oscurantismo que a menudo rodea los procesos de investigación «a largo plazo».

Dentro de los objetivos de trabajo, la base AU propone un primer paso hacia el estudio social y tecnológico de los diferentes conjuntos de la orfebrería prehistórica peninsular, y se plantea como punto de partida para una determinación social y espacial de los Sistemas y Ámbitos Tecnológicos en los que se desarrollaron estas producciones, para profundizar después en un estudio de los modos de producción, redes de distribución y sistemas o procesos de transmisión tecnológica.

En el estado actual de la investigación, los trabajos se centran en la seriación y estudio de los distintos grupos de hallazgos de cara a su determinación

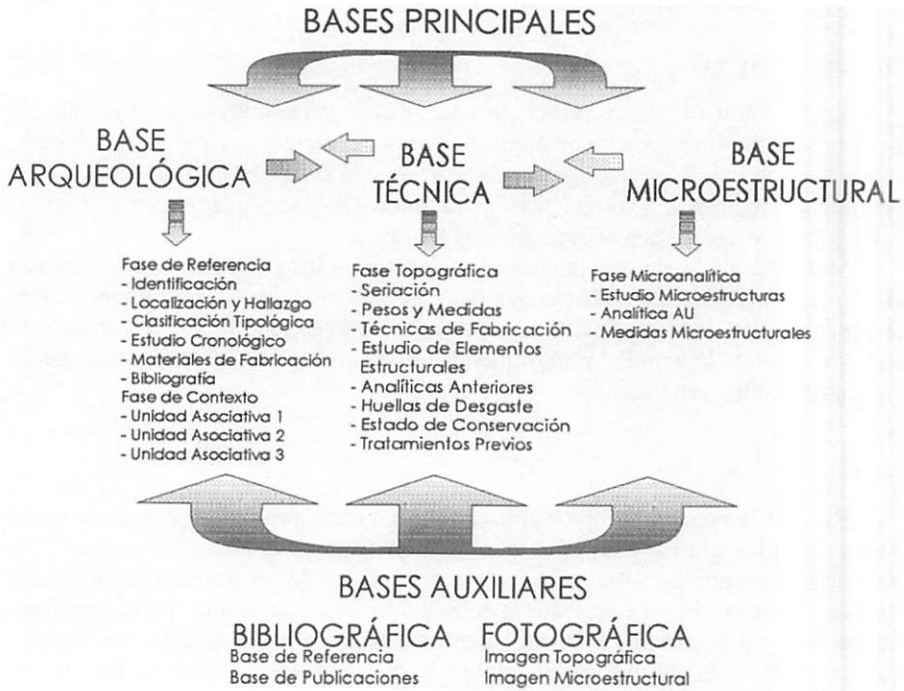


Figura 2. Esquema General de la Base de Datos AU.→

tecnológica, los resultados finales de este proceso serán puestos a disposición del investigador, en una segunda fase del estudio, a través de los actuales canales y servidores de información, en aras del contraste e intercambio de información y de un enriquecimiento del debate científico sobre la materia.

BIBLIOGRAFÍA

PEREA, A.

(1997) Arqueometalurgia del Oro. El Proyecto Au. *Cota Zero*, 13: 43-50.

(1991) *Orfebrería Prerromana. Arqueología del Oro*. Caja de Madrid. Comunidad de Madrid.

PEREA, A.; ARMBRUSTER, B.

(1997) El tesoro tartésico de El Carambolo visto desde el Proyecto AU. *Revista de Arqueología*. Año XVIII. n.º 195. Madrid.

PROYECTO AU PARA EL ESTUDIO DE LOS ÁMBITOS TECNOLÓGICOS EN PREHISTORIA

por

Alicia PEREA (CEH, C.S.I.C.)
y
Óscar GARCÍA VUELTA (UCM)

La investigación sobre objetos de oro en Arqueología ha tenido en España dos orientaciones tradicionales. La primera se basó en el método tipológico y respondió a preguntas relacionadas con el tiempo; la segunda se apoyaba en los métodos comparativos de la Historia del Arte, y respondió a preguntas relacionadas con el espacio. Tipología y estilo estaban integrados en un marco teórico positivista que entró en crisis en los años 70 y murió en los 80.

Dentro de este marco teórico positivista se había desarrollado un ambicioso proyecto de investigación arqueometalúrgica en los Laboratorios del Württembergischen Landesmuseum, en Stuttgart, en el que se planteaban cuestiones como tecnología, procedencia y comercio del metal en la Europa de la Edad del Bronce; la metodología fue la espectroscopía óptica. El volumen de datos espectrográficos manejados sobre composiciones químicas y la amplísima área geográfica que cubrían creó unas expectativas que se frustraron según iban publicándose los resultados (Hartmann 1970, 1982). El diagnóstico del fracaso parece claro desde la perspectiva actual: las preguntas planteadas no podían ser respondidas con semejante metodología analítica; además, no se tuvieron en cuenta los datos arqueológicos que aportaban una información imprescindible para interpretar los datos numéricos (Tylecote, 1970; Harbison, 1971; Coles, 1982; Perea, 1991: 21-22).

La idea del **Proyecto Au** surgió como consecuencia de la reacción producida por este estado de la investigación en España, donde tenemos una de las secuencias más ricas de oro arqueológico, desde el Calcolítico hasta la conquista romana. Tiene una clara vocación de renovación teórica y metodológica y se plantea como una investigación a largo plazo, de la que ahora se está cumpliendo la primera fase, que cubre el proyecto «Base de datos microscópica y microanalítica para el estudio de los ámbitos tecnológicos en Prehistoria.

Cambio y transmisión en metalurgia del oro», financiado por la DGICYT (PB 94-0129).

Se trata de un proyecto de investigación que parte del estudio del proceso de transformación de los metales nobles, para determinar los mecanismos que rigen el cambio y la transmisión tecnológica, y en última instancia el cambio social. Pensamos que el oro es un material arqueológico con una enorme capacidad para transmitir información, no sólo tecnológica sino ideológica, debido a la carga simbólica que encierra. Ese contenido simbólico trasciende su estricto valor económico para relacionarse con aspectos de comunicación, legitimación política o religiosa, pertenencia, exclusión o identificación intra e intergrupar. Por esta razón la escala de tiempo que se contempla en este proyecto es la larga duración, el proceso diacrónico y dinámico del cambio desde los inicios de la metalurgia hasta la romanización de la Península Ibérica.

La metodología empleada se basa en la asociación del dato analítico a su imagen estructural correspondiente y ambos a un contexto tecnológico concreto que viene determinado por la información arqueológica del objeto en estudio.

Esta metodología se desarrolla, por tanto, en dos fases: una topográfica y otra microanalítica.

La fase topográfica consiste en la observación, identificación y documentación gráfica de las huellas de trabajado y microestructuras superficiales mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) u otros instrumentos de observación óptica. La huellas de trabajado son resultado de la deformación plástica que las herramientas empleadas o los procesos de fabricación mecánicos dejan sobre la superficie del metal; mientras que las microestructuras superficiales suelen aparecer como resultado de procesos térmicos durante la fabricación y químicos en las condiciones del yacimiento.

La fase microanalítica se ocupa de la caracterización química de las aleaciones empleadas y de los efectos y transformaciones que en ellas se producen por el paso del tiempo y las condiciones del yacimiento. El método que mejor se adapta a estas necesidades es la microsonda electrónica dotada con espectrómetro de dispersión de energías (EDE), y el caso más representativo es el de las microsoldaduras en procesos técnicos como la filigrana y el granulado.

Finalmente, el objeto es estudiado bajo la perspectiva contextual: dentro de su estructura arqueológica, dentro del yacimiento y dentro de su entorno tecnológico.

Con toda esta información se ha creado la **Base de Datos Au** (ver artículo en este mismo volumen) que recoge tres tipos de datos:

- a) Microanalíticos: con el resultado de los análisis de las soldaduras y otras estructuras de interés.
- b) Macro y microestructurales: con las imágenes procedentes del examen topográfico.
- c) Contextuales: con los datos de interés arqueológico.

Pero los datos no son más que una sucesión de magnitudes y circunstancias que carecen de sentido. Para entenderlos tienen que estar sustentados por una base teórica y un modelo que nos sirva de referencia.

El modelo que utilizamos parte de una serie de presupuestos; en este caso partimos de los que ha ido elaborando la todavía joven Sociología de la Técnica dentro de su programa sobre construcción social de la Tecnología (Pinch, Bijker, 1994). Este programa caracteriza la tecnología como:

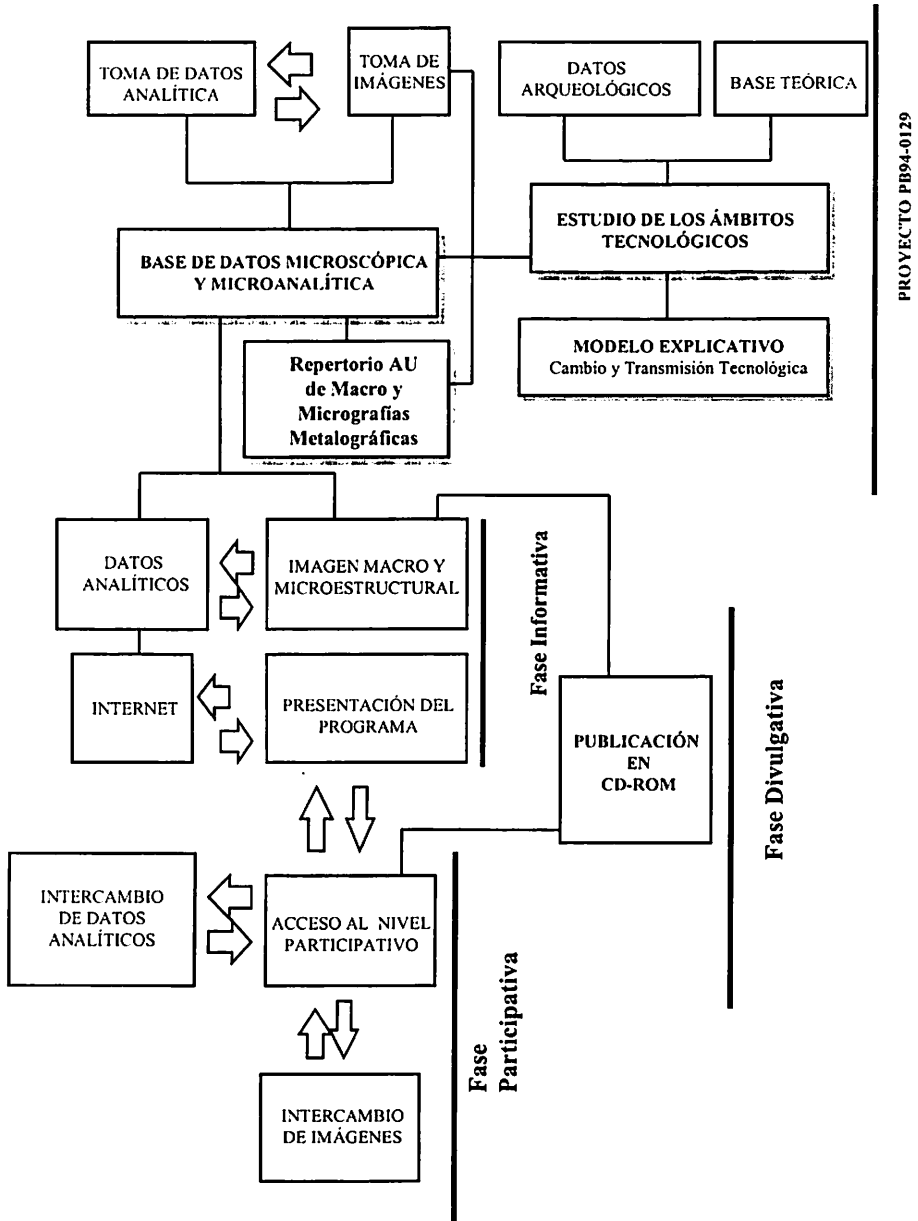
- **Multidireccional:** en contraste con los modelos lineales surgidos de la visión evolucionista;
- **Selectiva:** por parte de los individuos, grupos o instituciones con capacidad de decisión o poder;
- **Flexible:** puesto que existen múltiples maneras de resolver un artefacto o un problema técnico, dependiendo del entorno social y económico.

Si es multidireccional, selectiva y flexible, la técnica o los procesos tecnológicos no pueden responder a fenómenos aleatorios o evolutivos sino a la capacidad de elección y decisión del hombre; y esto implica intencionalidad y por tanto un significado. En definitiva, la tecnología es susceptible de ser interpretada y tiene capacidad de manipulación; se convierte así en una potencial arma política (Perea, 1996).

Partiendo de estas premisas se ha elaborado el concepto de «ámbito tecnológico» que en síntesis es aquel sistema que viene delimitado por las siguientes variables: a) técnicas, o conjunto de procedimientos concretos de fabricación; b) producción, o sistema de relaciones sociales de producción; y c) cultura material, o producto (Perea, 1995 y 1997). Estos sistemas interactúan entre sí a lo largo del tiempo, produciendo nuevos sistemas.

Una vez finalizada la actual fase del proyecto, la Base de Datos Au quedará abierta para que cualquier investigador pueda hacer uso de ella de manera interactiva, lo que quiere decir que la base se enriquecerá con los datos aportados por los investigadores, en la misma medida en la que éstos se benefician de su consulta. El esquema del proyecto final quedaría según el esquema siguiente:

FASES DE DESARROLLO DEL PROYECTO AU



BIBLIOGRAFÍA

COLES, J.

- (1982) The Bronze Age in Nothwestern Europe: problems and advances. *Advances in World Archaeology*, I: 287-288.

HARBISON, P.

- (1971) Hartmann's gold analysis: a comment. *Journal of the Royal Society of Antiquaries Ireland*, 101: 159-160.

HARTMANN, A.

- (1970) Prähistorische Goldfunde aus Europa I. *Studien zu den Anfängen der Metallurgie*, Band 3. Berlin.

- (1982): Prähistorische Goldfunde aus Europa II. *Studien zu den Anfängen der Metallurgie*, Band 5. Berlin.

PEREA, A.

- (1991) *Orfebrería Prerromana. Arqueología del Oro*. Comunidad de Madrid, Caja de Madrid.

- (1995) La metalurgia del oro en la fachada atlántica peninsular durante el Bronce Final: interacciones tecnológicas. En: M. RUIZ-GÁLVEZ (ed.) *Ritos de Paso y Puntos de Paso. La Ría de Huelva en el mundo del Bronce Final europeo*. Complutum, extra 5:69-78.

- (1996) Propuesta teórica para una aproximación global a la imagen ibérica: el ejemplo del cambio y la transmisión iconográfica en metalistería. En: R. OLMOS (ed.), *Al otro lado del Espejo*. Colección Lynx. Madrid: 61-71.

- (1997) Arqueometalurgia del oro. El Proyecto Au. *CotaZero*, 13: 43-50. Barcelona.

PEREA, A. y ARMBRUSTER, B.

- (1997) El Carambolo visto desde el Proyecto Au. *Revista de Arqueología*, 195 (Julio): 20-29.

PINCH, T. J. y BIJKER, W. E.

- (1994) (1st 1989) The social construction of facts and artifacts: or how the sociology of science an the sociology of technology might benefit each other. In: BIJKER, W. E., HUGHES, T. P. and PINCH, T. J. (eds.) *The Social Construction of Technological Systems*. MIT Press. Cambridge: 17-50.

TYLECOTE, R. F.

- (1970) The composition of metal artifacts: a guide to provenance? *Antiquity*, XLIV: 19-23.

ESTUDIO MEDIANTE FLUORESCENCIA DE RAYOS-X DE PIGMENTOS AMARILLOS EN RETABLOS VALENCIANOS DE LOS SIGLOS XV Y XVI

por

José L. FERRERO¹, Clodoaldo ROLDÁN^{1,2}, Elisa NAVARRO²,
Mar RODRÍGUEZ¹, Miquel ARDID¹, Manuel MARZAL³,
Julián ALMIRANTE³ y Pilar INEBA³

RESUMEN

Análisis no destructivos mediante XRF permiten, a partir de los espectros procedentes de las obras pictóricas, detectar e identificar de una manera rápida y precisa los elementos inorgánicos que componen los pigmentos empleados por los autores en su realización. Dichos espectros se han registrado «in situ» en el Departamento de Restauración del Museo de Bellas Artes de Valencia sin que se haya requerido ninguna intervención o agresión sobre las obras. Se ha utilizado un equipo de fluorescencia de rayos-X (XRF) que consta de un tubo emisor de rayos-X de 50 kV y 1 mA, y detectores de CdTe.

La técnica se ha empleado para analizar las pinturas sobre tabla de diversos autores valencianos de los siglos XV y XVI. Presentamos en este trabajo una contribución a la identificación de los pigmentos amarillos utilizados, entre los que hemos encontrado amarillos integrados a base de compuestos de Pb, Sn (amarillo de plomo-estaño), Fe y As. De los resultados se puede establecer la cronología de la utilización del amarillo de plomo-estaño por los pintores valencianos de los siglos XV y XVI.

INTRODUCCIÓN

Existen distintos tipos de amarillo cuyo uso era frecuente en la Edad Media, y la confusa denominación con que se les ha designado en los tratados

1. Institut de Ciència dels Materials. Universitat de València.

2. Departamento de Física Aplicada. Universitat de València.

3. Departamento de Restauración. Museo de Bellas Artes de Valencia.

medievales introduce serias dificultades a la hora de identificar el pigmento utilizado en la realización de una obra. Tal es así, que el amarillo de plomo-estaño, a pesar de ser muy utilizado en los siglos XIV-XVII (Kühn, 1968), no aparece en los tratados de los siglos XIX y XX hasta que en 1940 Jacobi descubre que hay amarillos con mucho estaño. Anteriormente, se hacían análisis microscópicos sobre el plomo, y si daban positivo se decía que eran óxidos de plomo o amarillo de Nápoles (antimoniato de plomo) según el período de la obra.

El estudio realizado por H. Kühn (Kühn, 1968) sobre 154 pinturas de diferentes autores europeos realizadas entre 1300 y 1750, demuestra que los pigmentos amarillos utilizados más frecuentemente durante este período y que son referidos como «giallorino» por el Manuscrito Boloñés y como «massicot» por los manuscritos del centro y norte de Europa, corresponden al mismo compuesto de plomo y estaño hoy conocido como amarillo de plomo-estaño. Este pigmento amarillo está relacionado también con los grandes centros europeos de producción de vidrio coloreado durante la Edad Media: Florencia y Bohemia. Fue en los talleres pictóricos de estos centros donde presumiblemente se empezó a utilizar el amarillo de plomo-estaño y los artistas que allí se formaron se encargaron de difundirlo por toda Europa. Además de utilizarlo como pigmento en pintura sobre tabla, el amarillo de plomo-estaño se utilizó en la decoración de pergaminos datados en los siglos XIV y XV (Mandó, 1997).

El presente estudio, realizado mediante fluorescencia de rayos-X, identifica por primera vez la utilización de amarillo de plomo-estaño en retablos valencianos de los siglos XV y XVI, lo que indica una fluencia de conocimientos y técnicas pictóricas desde Italia hasta la zona de Valencia. Este trabajo pretende ser una contribución para delimitar el período y los autores que utilizaron este pigmento.

MATERIAL Y MÉTODOS

El principio físico de la fluorescencia de rayos-X (XRF) se basa en la irradiación de una muestra, en nuestro caso obra pictórica, con un haz de rayos-X externo que provoca la ionización de las capas electrónicas de los átomos de la muestra. Como consecuencia de las transiciones electrónicas inducidas se produce la emisión de rayos-X, cuya energía es característica de dichos átomos. Mediante sistemas de detección adecuados se pueden identificar las energías características de la radiación emitida por la muestra y, por tanto, identificar los elementos químicos presentes.

El dispositivo experimental que hemos utilizado (Almirante *et al.*, 1996) consta de un tubo de rayos-X de Oxford Instruments con anticátodo de Rodio (Rh) y cuyo potencial e intensidad de corriente pueden variarse entre 0 y 50 kV y entre 0 y 1 mA, respectivamente. A la salida del tubo un colimador de metacrilato de 5 mm de diámetro limita el área del haz sobre la muestra. Los rayos-X característicos emitidos por los átomos de la muestra son detectados por un cristal de CdTe(Zn) de $3 \times 3 \times 2$ mm² de la firma AMPTEK refrigera-

do por efecto Peltier y con una resolución de 300 eV (FWHM). La señal electrónica generada en el detector pasa por un procesador de pulsos y de aquí a un analizador multicanal integrado en una tarjeta PCA2 de Tennelec instalada en un PC. El espectro de XRF resultante es visualizado en un monitor y almacenado en soporte magnético para su posterior análisis.

Las ventajas del equipo utilizado radican en: a) su portabilidad, que permite trasladarlo hasta donde se encuentra la obra y realizar su análisis *in situ*; b) la rapidez y precisión de los análisis, y c) los análisis son «no destructivos» y «no agresivos» para la obra.

Gracias a las características del equipo señaladas anteriormente los análisis se han realizado en el Departamento de Restauración del Museo de Bellas Artes de Valencia. Una vez que se han eliminado las capas de barniz que cubren la capa pictórica se seleccionan los puntos de interés que se desean analizar, en este caso los pigmentos amarillos. Para detectar la presencia del amarillo de plomo y estaño comprobamos que en el espectro de XRF se encuentra la línea K_{α} del estaño que corresponde a una transición de 25 keV. Por esta razón, hemos utilizado un haz de rayos-X de 38 keV que permite inducir las transiciones de fluorescencia de la citada línea espectral. En la figura 1 presentamos, a modo de ejemplo, uno de los espectros de fluorescencia de rayos-X registrados en el que se observa claramente la línea espectral del estaño. Con objeto de estudiar otras transiciones, y en aquellos casos en los que no se ha detectado la presencia de estaño, se han registrado espectros de fluorescencia con energía de haz de 25 keV, lo que nos permite obtener información adicional sobre otros elementos químicos que integran el pigmento amarillo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han analizado los pigmentos amarillos de obras realizadas por los pintores valencianos Miguel Alcañiz, Vicente Macip y Juan de Juanes (hijo de Macip), cuya relación detallada se muestra en la tabla 1. Todas ellas corresponden a pintura sobre tabla de los siglos XV y XVI (Museo de BB. AA., 1997).

A partir de los espectros de fluorescencia se ha realizado un análisis semicuantitativo en base a la siguiente clasificación: el elemento dominante corresponde al de mayor intensidad (pico con mayor número de cuentas después de sustraer el fondo) registrado en el espectro de fluorescencia. Las áreas de los demás picos se normalizan respecto de la del elemento dominante, clasificándolos en elementos mayoritarios, cuyas intensidades son hasta un 10% inferiores a la del elemento dominante y elementos minoritarios con intensidades comprendidas entre el 10 y el 1% del dominante. En la tabla 2 se indican las obras en las que se ha identificado el estaño como elemento integrante del pigmento amarillo a partir de los espectros de XRF registrados con una energía de haz de rayos-X de 38 keV. En esta tabla se consignan de forma orientativa las intensidades relativas de cada elemento respecto al dominante. De los resultados obtenidos deducimos que el amarillo empleado en dichas obras

es un compuesto de plomo y estaño que podemos identificar como amarillo de plomo-estaño. La particularidad de que el elemento dominante en todos los espectros sea el plomo tiene su explicación en el hecho de que, además de integrar el pigmento amarillo, los autores solían emplear el blanco de plomo en la última capa de la preparación del soporte y en las mezclas para obtener distintas tonalidades cromáticas.

En aquellas obras en las que no se identificó el estaño como integrante del pigmento amarillo, se registraron espectros de XRF adicionales con una energía de haz de 25 keV y cuyo objetivo era identificar los componentes del pigmento con una mayor claridad. Estas obras están relacionadas en la tabla 3, en la que también se han consignado las intensidades relativas de cada elemento respecto al dominante. De los resultados obtenidos podemos argumentar que los pigmentos amarillos utilizados estaban constituidos a base de compuestos de plomo y hierro, siendo significativa la presencia de arsénico en los amarillos de dos obras, «La adoración de los pastores» y «Cristo atado a la columna», por lo que en estas dos obras el compuesto utilizado podría ser el orpiment (trisulfuro de arsénico, As_2S_3).

CONCLUSIONES

Se ha identificado estaño como elemento integrante de pigmentos amarillos en retablos de autores valencianos de los siglos XV y XVI, lo cual hace suponer que el compuesto utilizado es amarillo de plomo-estaño. El empleo de este pigmento amarillo revela influencias de las escuelas de Florencia y Siena que lo utilizaban desde el siglo XIII (Hühn, 1968), y que probablemente fue introducido en Valencia por maestros formados en las escuelas italianas. El estudio de retablos datados con anterioridad a los aquí presentados podrá establecer la fecha en que el amarillo de plomo-estaño es introducido en Valencia.

Junto con el amarillo de plomo-estaño se han identificado otros pigmentos amarillos utilizados por los autores en las obras estudiadas y que están integrados por compuestos a base de plomo, hierro y arsénico.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha desarrollado gracias a la financiación de la Consellería de Educació y Ciència de la Generalitat Valenciana a través del proyecto GV-3185/95. Los autores desean mostrar su agradecimiento a la Dirección General de Patrimonio, Museos y Bellas Artes, al Servicio de Conservación y Restauración de Bienes Museísticos y al Departamento de Restauración del Museo de Bellas Artes de Valencia.

REFERENCIAS

- ALMIRANTE, J.; FERRERO, J. L.; INEBA, P. NAVARRO, E.; NAVARRO, F. J.; ROLDÁN, C. y VALDÉS, J. L.
 (1996) *Análisis por fluorescencia de Rayos-X de los fondos de pintura gótica y renacentista del Museu Sant Pius V. Primeros resultados*. XI Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Castellón, 1996.
- KÜHN, H.
 (1968) *Lead-tin yellow. Studies in Conservation*, 13,7-33.
- MANDÓ, P.
 (1997) *Applications of ions beam analysis techniques to arts and archaeometry*. Ed. M. A. Respaliza y J. Gómez. Universidad de Sevilla.
- Museo de BB. AA.
 (1997) *Vicente Macip (1475-1550)*. Catálogo de la Exposición. Museo de Bellas Artes de Valencia.

Tabla 1. Relación de obras analizadas.

RETABLO	DIMENSIONES	AUTOR (año)	DEPOSITARIO
1.-Santa Ana, La Virgen y El Niño en compañía de María Magdalena.	1.55 x 0.85	V. Macip(~1506)	Real Monasterio S.Miguel, Liria.
2.-Santo Entierro.	1.25 x 1.21	V. Macip(1529-32)	Museo Diocesano, Segorbe.
3.-Adoración de los pastores.	1.72 x 1.53	V. Macip(1529-32)	Museo Diocesano, Segorbe.
4.-Bautismo de Cristo.	3.08 x 2.05	V. Macip(~1535)	Catedral, Valencia.
5.-Cristo atado a la columna.	1.24 x 0.72	V. Macip(~1535)	Iglesia S. Juan, Alba de Tormes.
6.-Predela de las Santas.	0.69 x 0.29	V. Macip(~1506)	Museo de Bellas Artes, Valencia.
7.-Adoración de los Magos.	0.90 x 0.73	V. Macip(~1543)	Colección particular.
8.-Retablo de S. Dionisio y Sta. Margarita.	5.10 x 3.50	V. Macip(~1510)	Museo Diocesano, Valencia.
9.-Caída de Saulo.	0.83 x 0.62	V. Macip(~1545)	Catedral, Valencia.
10.-Retablo de la Santa Cruz.	3.50 x 2.60	M. Alcañiz(~1410)	Museo de Bellas Artes, Valencia.
11.-La última cena.	0.92 x 0.84	V. Macip(~1545)	Museo de Bellas Artes, Valencia.
12.-Las Bodas Místicas del Venerable Agnesio	0.77 x 1.74	J. Juanes(1553-58)	Museo de Bellas Artes, Valencia.

Tabla 2. Obras en las que se ha identificado el estaño como elemento integrante del pigmento amarillo. Los espectros de XRF se han registrado con una energía del haz de rayos-X de 38 KeV. (E.D.: elemento dominante; E.M.: elemento mayoritario; E.m.: elemento minoritario).

OBRA	FIGURA	E.D.	E.M.	E.m.
1.-Santa Ana, La Virgen y El Niño en compañía de María Magdalena.	Pelo magdalena	Pb	Sn ₁₄₍₊₎	Ni ₁₁₄
2.-Santo Entierro.	Manga mujer	Pb	Sn ₁₇	Ni ₁₃₃
4.-Bautismo de Cristo.	Flor	Pb	Sn ₁₉	Cu ₁₂₆ , Ni ₁₄₁
6.-Predela de las Santas.	Palma	Pb	Sn ₁₈	Ni ₁₃₁
	Pelo	Pb	Sn ₁₄	Ni ₁₁₀ , Fe ₁₂₉
7.-Adoración de los Magos.	Túnica Rey	Pb	Sn ₁₈	Ni ₁₁₈
8.-Retablo de S. Dionisio y Sta. Margarita.	Calzón	Pb	Sn ₁₆	Ni ₁₃₁
	Falda hombre	Pb	Sn ₁₄ , Cu ₁₅	
10.-Retablo de la Santa Cruz.(*)	Capa	Pb		Fe ₁₂₀ , Sn ₁₁₀

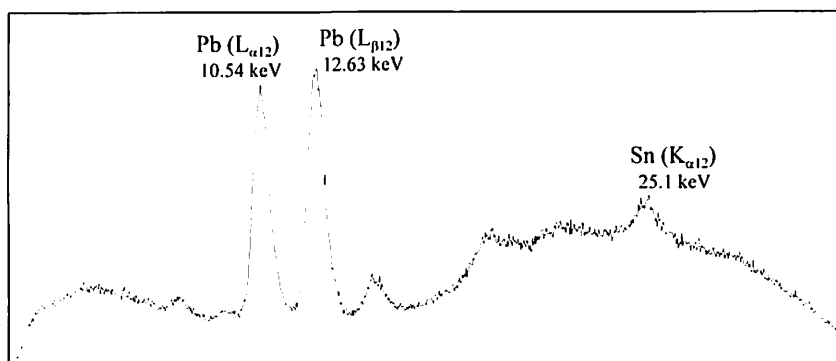
(-)I.x., indica la relación de intensidades del pico XRF del elemento considerado respecto del dominante

(*) Espectro obtenido con una energía de haz de 25 keV.

Tabla 3. Obras en las que «no» se ha identificado el estaño como elemento integrante del pigmento amarillo. Estos amarillos podrían haberse obtenido a partir de compuestos de plomo, hierro y arsénico. Los espectros de XRF se han registrado con una energía del haz de rayos-X de 25 keV. (E.D.: elemento dominante; E.M.: elemento mayoritario; E.m.: elemento minoritario).

OBRA	FIGURA	E.D.	E.M.	E.m.
2.-Santo Entierro	Manga	Pb	Fe ₁₅	Ca ₁₉₈
3.-Adoración de los pastores.	Túnica pecho	Pb	As ₁₁₄ , Fe ₁₄ , Cu ₁₄ , Ca ₁₆	Hg ₁₂₆
	Manga brazo	Pb	As ₁₁₃ , Ca ₁₄ , Fe ₁₅	Cu ₁₁₀ , Hg ₁₂₆
5.-Cristo atado a la columna.	Columna	Pb	Fe ₁₄ , As ₁₇	Ca ₁₃₃
10.-Retablo de la Santa Cruz.	Manto	Pb	Fe ₁₃	Ca ₁₂₂ , Zn ₁₅₀ , Cu ₁₆₄
11.-Caída de Saulo	Soldado	Pb	Fe ₁₁₀	Cu ₁₂₃ , Sr ₁₁₇ , Ca ₁₅₃
12.-Las Bodas Místicas del V. Agnesio	Manga de Inés	Pb		Cu ₁₁₉ , Fe ₁₇₁

CUENTAS



CANALES

Figura 1. Espectro de fluorescencia de rayos-X del pigmento amarillo correspondiente a una túnica de la obra «Adoración de los Magos» (V. Macip.). El espectro se ha obtenido con un haz de rayos-X de 38 KeV. Se han señalado las líneas espectrales más importantes del plomo ($L_{\alpha 12}$ y $L_{\beta 12}$) así como la del estaño ($K_{\alpha 12}$).

CARACTERIZACIÓN QUÍMICO-FÍSICA DE LAS PINTURAS MURALES DE LA CASA DEL MITREO DE LA CIUDAD DE MÉRIDA (BADAJOZ)

por

M. C. EDREIRA SÁNCHEZ, M. J. FELIU ORTEGA, J. MARTÍN CALLEJA
Departamento de Química Física. Universidad de Cádiz

RESUMEN

Este trabajo presenta un estudio de elementos estructurales de 12 muestras, representativas de las pinturas murales romanas de la Casa del Mitreo de la ciudad de Mérida (Badajoz), usando Microscopía Electrónica de Barrido, Difracción de Rayos X y Espectroscopía Visible, como técnicas de estudio.

En particular, para la caracterización de la capa pictórica, se ha usado la Espectroscopía Visible, siguiendo las normas CIE64; este método se propone como alternativa a los métodos clásicos por su objetividad.

INTRODUCCIÓN

En el año 1967, cuando llegaba a su fin la excavación de la Casa del Mitreo, se descubrió un aljibe subterráneo con su cubierta hundida. En su interior fueron hallados numerosos restos de enlucidos pintados que, procedentes de la estancia superior, habían caído allí con el derrumbe de la bóveda. Se seleccionaron los fragmentos de pintura que mostraban decoraciones figuradas, quedando sólo los que tenían motivos geométricos en el almacén que por entonces se hallaba en la Alcazaba de Mérida. Allí estuvieron hasta 1989, año en el que se trasladaron hasta los almacenes del Museo Nacional de Arte Romano. En la actualidad, el restaurador de dicho museo, D. Juan Altieri ha podido hacer una reconstrucción de cómo debía ser el mural.

El trabajo que aquí se presenta, corresponde al estudio de 12 muestras de dicha habitación, de las cuales se han extraído a su vez, pequeños fragmentos de las zonas más interesantes. Estas son conocidas como las pinturas Báquicas

de la Casa del Mitreo de la ciudad de Mérida (Badajoz), cedidas por el Museo Nacional de Arte Romano de dicha ciudad.

El estudio químico físico de dichas muestras presenta múltiples facetas de actuación, tanto sobre las diferentes capas que presentan: mortero o soporte y capa pictórica, como por las técnicas empleadas en su estudio.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Aparte de la mera observación microscópica con una lupa binocular de los morteros y pigmentos, el estudio de dichas muestras se ha realizado usando las técnicas que a continuación se describen:

1. Microscopía electrónica de barrido (SEM)

La versatilidad de esta técnica hace posible la observación de varias capas, las relaciones entre ellas, los pigmentos y aglomerantes usados, así como el análisis químico de las áreas seleccionadas. El microscopio utilizado es un JEOL JSM820, y se usa los siguientes modos de trabajo:

- Electrones Secundarios (SE) para la detección de morfologías de interés.
- Electrones de Backscattering para la detección de heterogeneidades composicionales, y
- Energía Dispersiva de Rayos X (EDS-LINK AN10000) para determinar la composición química.

El estudio de la superficie pictórica y de los morteros se ha efectuado usando pequeños fragmentos de alrededor de 1 mm², e incluso, cuando ha sido interesante, de cristales aislados de determinados pigmentos. Las muestras fueron metalizadas con oro con el fin de hacerlas conductoras, de ahí que en todos los espectros EDS aparezca el pico de dicho elemento.

2. Difracción de Rayos X (DRX)

Esta técnica se ha utilizado para el estudio de las sustancias cristalinas presentes en el mortero y de pigmentos presentes en la capa pictórica. El estudio de la superficie pictórica se ha efectuado usando pequeños fragmentos de varios milímetros cuadrados sin triturar de ella, mientras que el mortero se ha estudiado del polvo obtenido por molienda de varias partes de él.

El equipo utilizado es un difractómetro Phillips PW1830, dotado con un software automatizado para difracción de polvo PC-APD y un software de identificación de fases cristalinas PC-IDENTIFY. En todos los casos se ha empleado la radiación K α del Cu aplicando una diferencia de potencial de 40 mV en el tubo y una intensidad de 40 mA en el filamento.

3. Caracterización cromática

La caracterización cromática de la capa pictórica se ha hecho, frecuentemente, por medios subjetivos basados en la comparación visual de la muestra con una tabla preestablecida de colores, tales como el código Munsell. Este método puede llevar a serios errores ya que puede estar muy influenciado por factores externos tales como la iluminación usada durante la comparación, las capacidades de percepción del observador y la estabilidad cromática de los patrones usados para la comparación.

En este trabajo se ha llevado a cabo una caracterización cromática objetiva, y no destructiva, por medio de espectroscopía Visible. Este método se basa en la determinación de la reflectancia difusa dentro del rango de las frecuencias del visible por medio de un espectrómetro Ultravioleta-Visible Otsuka MCPD-1100. El sistema instrumental está equipado con fibra óptica tanto para el sistema de iluminación como para el de captación de la luz reflejada. El sistema de iluminación consta de una lámpara sobrevoltada y filtrada que permite obtener una emisión equivalente al iluminante teórico D65. Como patrón blanco se ha usado una pastilla prensada de MgO. La geometría de iluminación/observación empleada corresponde a la 0/45, que corresponde a una iluminación normal de la superficie y un ángulo de observación de 45°. Se usa como observador teórico la norma UNE4 que corresponde a un ángulo de observación de 10°.

Se usa el sistema CIE64 para representar los valores triestímulos X, Y, Z, así como las coordenadas cromáticas x, y, que definen el tono y la saturación del color, en el correspondiente diagrama colorimétrico.

RESULTADOS

En general, las pinturas muestran una superficie perfectamente pulida, observable al microscopio. A partir de los datos morfológicos y composicionales que se han obtenido, se ha deducido que para la aplicación de los colores se ha utilizado la técnica del fresco, sin la presencia de yeso. Se observan sobre las bases de color otras aplicaciones de pigmento al seco.

La presentación de los resultados obtenidos se puede hacer de muchas formas, sin embargo, ha parecido interesante mostrarlos haciendo referencia a la paleta de colores: negro, blanco, azul, verde y roja, que presentan la totalidad de las muestras. En un punto aparte, se hará la caracterización cromática de las muestras.

1. Color Negro

Este color aparece en la mayoría de las muestras como base de otras capas pictóricas. En todas ellas, por DRX se detecta además de cuarzo, carbonato cálcico y silicatos varios, la presencia de carbón en distintas formas cristalinas (grafito, chaoite, etc.), así como posibles óxidos de hierro aunque en

pequeñas cantidades. No se puede excluir la presencia de carbón amorfo, que no puede ser detectado por esta técnica. La presencia de óxidos de hierro queda confirmada por la realización del correspondiente espectro EDS a una muestra previamente tratada con HCl 1 N y posterior lavado con agua destilada, para eliminar la presencia de carbonatos (Fig. 1).

2. Color Blanco

Este color aparece generalmente en forma de líneas o bandas que sirven para delimitar la intersección de varios colores; su aspecto es lechoso, y en la mayoría de ellos, aparecen cristales azules que no parecen ser accidentales sino para reforzar la sensación de blanco. También en algunas observaciones se ha encontrado algún grano de color rojo, que puede ser una contaminación del propio pincel, ya que el color blanco está sobre una base roja. Por DRX se detecta además de cuarzo y silicatos varios, la presencia de dolomita y calcita como constituyentes básicos de este pigmento, y la presencia de azul egipcio para los cristales azules. Estas sustancias quedan confirmadas por la realización del correspondiente espectro EDS (Fig. 2 y 3). Los granos de color rojo se pueden atribuir al cinabrio.

3. Color Azul

Este color aparece formando bandas amplias o en algún motivo figurado. Con la lupa binocular se observan numerosos cristales azules. Por DRX, se detecta además de cuarzo, calcita y silicatos varios, la presencia de azul egipcio como constituyente básico de este pigmento. Mediante MEB, se observan claramente la forma de dichos cristales, (Foto 1), y los espectros EDS confirman la presencia de silicio, calcio y cobre, elementos constitutivos del azul egipcio.

4. Color Verde

Este color aparece formando motivos figurados. Dichas muestras se pueden clasificar en dos grupos; el primero de ellos podría ser el formado por todas las muestras excepto la que tiene por referencia *mi7verho* y el segundo, como es obvio, por ésta. Las muestras del primer grupo presentan un aspecto uniforme con esporádicos cristales azules. Por DRX, se detecta además de cuarzo, calcita y silicatos varios, la presencia de tierras verdes como constituyentes básicos de este pigmento, y la presencia de azul egipcio para dichos cristales azules. En el segundo grupo, es decir, la muestra *mi7verho*, además de lo anteriormente descrito, aparece una gran cantidad de cristales verdes brillantes, que han sido identificados en DRX como cristales de malaquita, y que contribuyen a que la tonalidad de la muestra sea más oscura.

Mediante SEM, se observa la forma de ambas estructuras cristalinas (Fotos 2 y 3). Los espectros EDS, confirman la presencia de silicatos de aluminio, potasio, hierro para el primer grupo y la presencia de carbonatos de cobre, además para el segundo (Fig. 4 y 5).

5. *Color Rojo*

Este color aparece formando bandas amplias y en motivos figurados. Con la lupa binocular se observa una masa uniforme. Por DRX, se detecta además de cuarzo, calcita y silicatos varios, la presencia de cinabrio como constituyente básico de este pigmento. Los espectros EDS, confirman la presencia de sulfuro de mercurio (Fig. 6). Sin embargo, en las muestras cuyas referencias son *Mi7roos* y *Mi7rocla* además de cinabrio, existen cantidades apreciables de óxidos de hierro y azul egipcio.

6. *Mortero*

Los morteros en general presentan una elevada dureza. Están formados por una base de carbonato cálcico y arena constituida por numerosos granos de cuarzo y granos de silicatos en general. En muchas de las muestras, se observan dos capas: una más blanca (la más próxima a la capa pictórica) con más carbonato y otra parda, que contiene más arena. Es de destacar que no se ha detectado la presencia de azufre mediante EDS, con lo que se confirma la ausencia de yeso en los morteros.

7. *Caracterización cromática*

En la tabla I se presenta los valores de las coordenadas cromáticas y de la luminosidad de la totalidad de las muestras. Para su estudio se pueden englobar en varios grupos y para representarlas en el diagrama cromático CIE64 se ha escogido un representante de cada grupo, al que se le ha asignado como nombre la letra correspondiente al grupo (Fig. 7).

El grupo A está formado por aquellas muestras con muy bajos valores de saturación, o estímulos acromáticos, y que corresponden con la apreciación visual de blancos, grises y negros. Dichas muestras se diferencian entre sí por los diferentes valores de luminosidad. Cabe señalar que dentro de este grupo quedan también recogidas dos muestras inicialmente catalogadas como azules.

El grupo B está formado por la tonalidad verde. Todas las muestras presentan un valor de longitud de onda dominante aproximado de 570 nm, propio de dicha tonalidad, excepto la muestra *Mi7verho* que es un poco mayor, aproximadamente, 574 nm, que debe ser consecuencia de la presencia de los cristales de malaquita como se ha dicho anteriormente.

El grupo C está formado por la tonalidad azul, que presentan un valor de longitud de onda dominante aproximado de 485 nm, propio de dicha tonalidad. El grupo D está formado por la tonalidad roja, y sus valores de longitud de onda dominante aproximado es de 600 nm, excepto, las dos muestras *Mi7roos* y *Mi7rocla*, indicadas anteriormente, que es de 590 nm, debido a la presencia de los óxidos de hierro y azul egipcio.

Por último, debe indicarse que todas las muestras tienen unos valores bajos de saturación, concordantes con los obtenidos para otras muestras de pintura mural romana.

IV. BIBLIOGRAFÍA

FELIU, M.J.

(1994) *Aplicación de la Microscopía Electrónica de Barrido a la Arqueometría*. Servicio de publicaciones. Universidad de Cádiz. ISBN 84-7786-181-1.

J. MARTÍN, M. J. FELIU ORTEGA, M. C. EDREIRA y C. GUIRAL

(1996) *Roman Paintings characterisation from Thermal Baths In Campo Valdés (Spain). Chromatic and Electron Microscopy Analysis*. Revue d'Archéometrie, Supplement, p83-86.

MOSTALAC, A., BELTRÁN, M.

(1994) *Colonia Victrix Iulia Lepida-Celsa (Velilla de Ebro, Zaragoza)* Diputación de Aragón.

ABAD CASAL, L.

(1982) *Pintura Romana en España*. Universidad de Alicante, Universidad de Sevilla.

ABAD CASAL, L.

(1982) Algunas consideraciones sobre los colores romanos y su empleo en la pintura. Homenaje a Saenz de Buruaga. Badajoz.

GILABERT, E.J.

(1992) *Medida del Color*. Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 84-7721-185-X.

WYSZECKI G., STILES, W.S.

(1982) *Color Science*. John Wiley & Sons. ISBN 0-471-02106-7, New York. CIE.

(1932) *Proceedings of 1931 CIE Conference*. Cambridge University.

AENOR (Instituto Español de Normalización)

Normas UNE: C.T.72 Iluminación y Color. Madrid.

DELAMARE, F., DELAMARE, L., GUINEAU, B., ODIN, G-S.

(1990) *Couleur, nature et origine des pigments verts employés en peinture murale romaine* Pigments et Colorants. Éditions du CNRS.

DELAMARE, F.

(1983) *Les peintures murales de L'Acropole de Lero. Etude physico-chimique et colorimétrique des rouges et des violets d'hématite*. Revue d'Archéometrie, 7.

DELAMARE, F.

(1982) L'étude colorimétrique et physico-chimique des couches picturales murales: Problèmes et méthodes. Revue d'Archéometrie, 6.

FRIZOT, M.

(1982) *L'analyse des pigments de peintures murales antiques. Etat de la question et bibliographie*. Revue d'Archéometrie, 6.

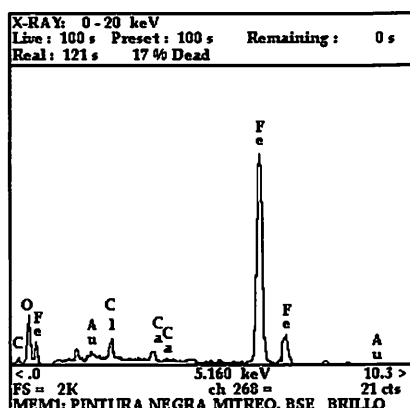


Figura 1. Espectro de EDS de una muestra de pintura negra del Mitreo, previamente tratada con HCl 1N. En él se observa la presencia de hierro, sólo atribuible a óxidos. El pico de Cl es debido a CaCl₂ a causa del tratamiento ácido.

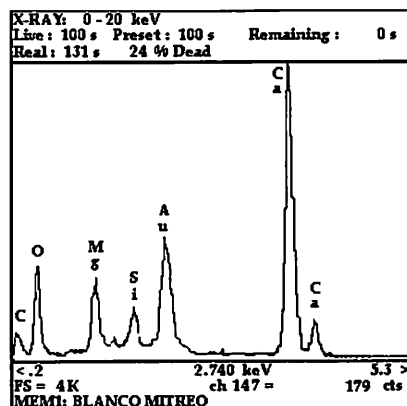


Figura 2. Espectro de EDS de una muestra de pintura blanca del Mitreo, donde se observa la presencia de Ca y Mg, que pueden ser asociados a la presencia de calcita o dolomita o ambos.

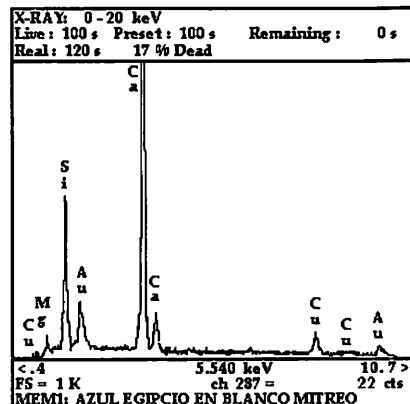


Figura 3. Espectro de EDS de un cristal azul de una muestra de pintura blanca, donde se observa la presencia de Ca, Cu y Si, asociados a la presencia de azul egipcio, y Mg y Ca asociados a carbonatos.

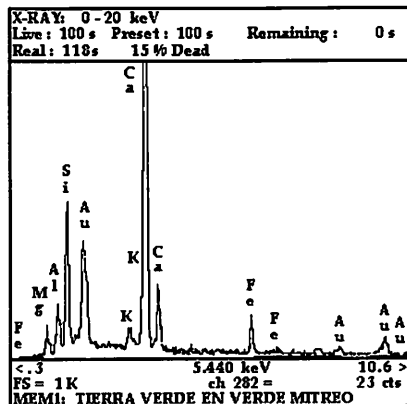


Figura 4. Espectro de EDS de una muestra de pintura verde donde se observa la presencia de Si, Al, Fe y K, que pueden ser asociados a la presencia de tierras verdes.

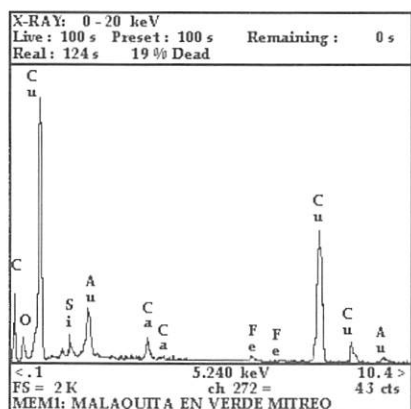


Figura 5. Espectro de EDS de un cristal verde de una muestra de pintura verde, donde se observa la presencia de Cu, O y C, que pueden ser asociados a la presencia de malaquita.

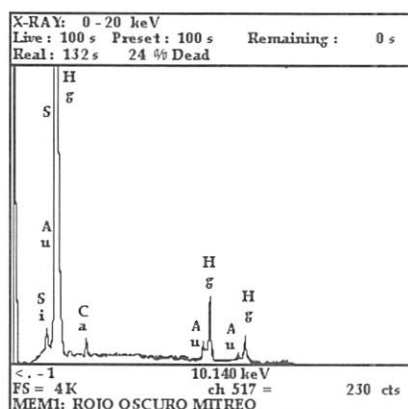


Figura 6. Espectro de EDS de una muestra de pintura roja, donde se observa la presencia de sulfuro de mercurio.

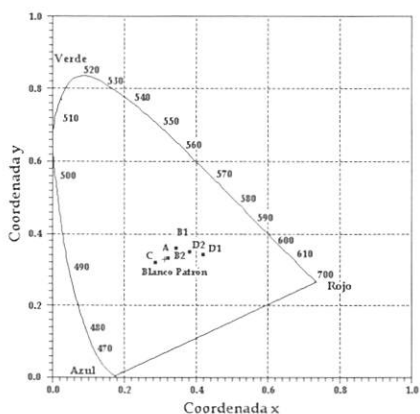


Figura 7. Diagrama cromático CIE64 en el que figura un representante de cada grupo establecido en el punto III.7.

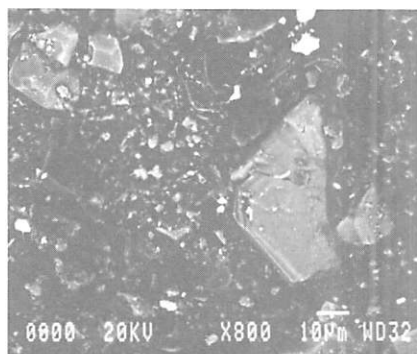


Foto 1. Cristales de azul egipcio observados en la muestra de pintura azul mi42azul.

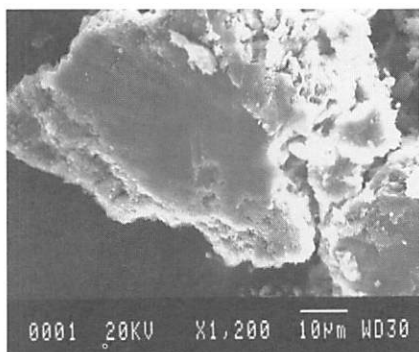


Foto 2. Cristales de tierras verdes observados en la muestra de pintura verde mi6ver.

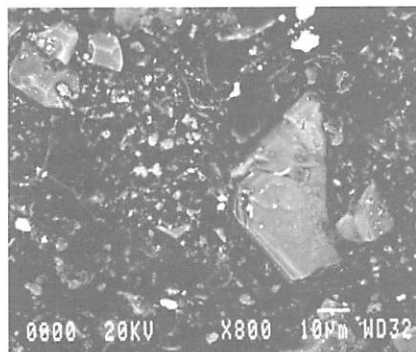


Foto 3. Cristales de malaquita observados en la muestra de pintura verde mi7verho.

Muestra	Caracterización cromática			λ (nm)	Grupo	Apreciación visual
	x	y	Y			
Mi2neg	0.3479	0.3528	22.087	Ambiguo	A	Negro - gris
Mi31neg	0.3298	0.3428	20.916	Ambiguo	A	Negro - gris
Mi32neg	0.3233	0.3367	21.195	Ambiguo	A	Negro - gris
Mi33neg	0.3180	0.3331	14.792	Ambiguo	A	Negro - gris
Mi42neg	0.3115	0.3279	14.109	Ambiguo	A	Negro - gris
Mi43neg	0.3203	0.3343	14.250	Ambiguo	A	Negro - gris
Mi5neg	0.3435	0.3585	13.038	Ambiguo	A	Negro + Verde
Mi6neg	0.3190	0.3319	8.496	Ambiguo	A*	Negro - gris
Mi7neg	0.3307	0.3411	12.019	Ambiguo	A	Negro - gris
Mi8neg	0.3208	0.3327	8.541	Ambiguo	A	Negro - gris
Mi2blan	0.3667	0.3662	60.005	Ambiguo	A	Blanco
Mi41blan	0.3640	0.3639	55.378	Ambiguo	A	Blanco
Mi42blan	0.3557	0.3612	50.408	Ambiguo	A	Blanco
Mi43blan	0.3530	0.3598	40.101	Ambiguo	A	Blanco
Mi5blan	0.3691	0.3563	31.055	Ambiguo	A	Blanco
Mi7blan	0.3452	0.3531	50.881	Ambiguo	A	Blanco
Mi32ver	0.3527	0.3744	33.861	570	B1	Verde
Mi33ver	0.3457	0.3588	21.237	570	B1	Verde y ocre
Mi6ver	0.3575	0.3774	21.147	570	B1*	Verde
Mi7verta	0.3572	0.3765	22.314	570	B1	Verde
Mi7verho	0.3451	0.3608	27.174	574	B2*	Verde oscuro
Mi2azul	0.3349	0.3490	30.399	Ambiguo	C	Azul (Suciedad de color pardo rojizo)
Mi41azul	0.2858	0.3204	48.287	485	C*	Azul
Mi42azul	0.3117	0.3363	30.181	Ambiguo	A	Gris azulado
Mi43azul	0.2925	0.3221	35.844	485	C	Azul
Mi6azul	0.3200	0.3406	24.110	Ambiguo	A	Gris azulado
Mi2roos	0.4098	0.3471	11.874	600	D1	Rojo oscuro
Mi2rocla	0.4149	0.3520	23.199	600	D1	Rojo claro
Mi41roos	0.4125	0.3416	15.373	600	D1	Rojo oscuro
Mi5ro	0.4170	0.3422	13.176	600	D1*	Rojo oscuro
Mi7roos	0.3545	0.3436	14.559	590	D2	Rojo oscuro
Mi7rocla	0.3793	0.3511	21.289	590	D2*	Rojo claro

Tabla 1. Valores de coordenadas cromáticas y de luminosidad de las muestras. * indica la muestra que se representa el diagrama colorimétrico CIE64.

IDENTIFICACIÓN POR FLUORESCENCIA DE RAYOS-X DE ALTERACIONES EN MUESTRAS DE PAPEL

por

J. L. FERRERO¹, C. ROLDÁN^{1,2} y J. VERGARA

RESUMEN

La conservación y restauración de documentos en soporte de papel requiere un estudio previo que analice e identifique las alteraciones sufridas por los mismos para determinar los procedimientos de intervención. La fluorescencia de rayos-X (XRF), como técnica no destructiva, ofrece un método rápido y preciso de identificar dichas alteraciones.

INTRODUCCIÓN

Son varios los trabajos que, empleando diversas técnicas de análisis, se han orientado al estudio de las tintas y papeles de documentos antiguos. En este sentido podemos señalar los de Kusko *et al.* (1984) sobre una copia de la *Biblia* de Guttenberg y los de Giutini *et al.* (1995) sobre los manuscritos de Galileo, en estos trabajos se ha estudiado la composición de las tintas empleadas, el tipo de papel, e incluso se ha establecido sin ambigüedades la cronología de diversos escritos y anotaciones de los documentos de Galileo.

Dentro de este tipo de estudios, la fluorescencia de rayos-X (XRF) ofrece interesantes posibilidades para determinar qué elementos están presentes en papel y tinta, los elementos añadidos durante el proceso de manufacturación, los añadidos por el usuario y los asociados a las alteraciones sufridas por agentes externos (Carriveau y Shelley, 1982). El presente trabajo es un ejemplo de aplicación de la XRF en este campo, y muestra cómo los análisis de los espectros de XRF procedentes de un acta notarial del siglo XVII y de un grabado del siglo XIX, han sido utilizados para identificar las alteraciones que presentaban, en el primer caso asociadas a la composición de la tinta, y en el

1. Institut de Ciència dels Materials.

2. Departamento de Física Aplicada.

segundo a los agentes externos que la estuvo expuesta durante su almacenamiento.

La XRF con el equipo que presentamos aquí ha sido aplicada con éxito al estudio de ornamentos de plata ibérica (Ferrero *et al.*, 1997a) y al estudio de pigmentos en retablos medievales de autores valencianos (Ferrero *et al.*, 1997b). La ventaja más importante de estos análisis radica en que no son destructivos para la obra artística analizada y en la rapidez de obtención de resultados, el equipo utilizado en este trabajo presenta la ventaja adicional de ser un módulo portátil que permite realizar los análisis en el lugar de ubicación de las obras.

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El equipo de XRF está integrado por una fuente (Oxford Instruments) de 50 kV de voltaje máximo y 1 mA de intensidad máxima que produce un flujo de rayos-X procedente de un ánodo de Rodio (Rh). Los rayos-X característicos emitidos en una dirección determinada por la muestra, que ha sido excitada por el flujo incidente, son colectados por un detector de Si(Li) de 30 mm² y de 140 eV de resolución (FWHM a 5.9 keV) con una ventana de Berilio (Be) de 5 mm² y 8 µm de espesor. El detector está refrigerado por nitrógeno líquido a la temperatura de 77 K. La señal electrónica procedente del detector se dirige a un procesador de pulsos Link 2048, y de aquí a un multicanal y tarjeta conversora A/D que forma parte del hardware de la PCA2 de Tennelec Instruments instalado en un PC. A la salida de la fuente se hace pasar el haz por un colimador de metacrilato con abertura de 5 mm para delimitar con exactitud la zona de irradiación. El conjunto fuente-detector está integrado en un dispositivo mecánico que permite fijar la geometría que forma la dirección del flujo incidente y el ángulo sólido que subtiende el detector con los rayos-X característicos emitidos por la muestra (Ferrero *et al.*, 1997a, 1997b).

RESULTADOS

En el siglo XVII las tintas negras empleadas en los documentos podían clasificarse en tres categorías: a) tintas al carbono, manufacturadas con negro de humo, goma de árbol o gelatina y agua; b) tintas metalogálicas, manufacturadas con taninos vegetales, sulfato de cobre o hierro, goma arábica o resina, agua, vino, cerveza y, a veces, miel; c) tintas mixtas al carbono a las que se añadía extractos de taninos o sales metálicas. Tanto las tintas como los papeles utilizados eran bastante inhomogéneos y presentaban notables diferencias de unos a otros debido al proceso de fabricación preindustrial en el que predominaba la manufacturación.

El acta notarial es un documento fechado el 13 de diciembre de 1683 y está escrita a mano sobre papel de un leve tono amarillento con estructura de fibras paralelas que le confieren gran solidez. Sus dimensiones son 31 × 21.5 cm y está doblado por la mitad de manera que quedan cuatro caras de 15.5 ×

21.5 cm, escritas completamente las tres primeras y la cuarta en un tercio de su extensión. Tiene un agujero de 1 cm que perfora las caras 3 y 4 y que parece causado por el deterioro de una mancha de tinta sobre el papel. La tinta utilizada tiene un color sepia con tonos pardos. Los análisis de XRF se han realizado sobre dos zonas diferentes del acta notarial: una zona con tinta y otra libre de tinta, de esta manera podemos identificar los elementos que componen la tinta y el papel.

En la figura 1 se muestran, superpuestos, los espectros XRF de la zona de tinta (en este espectro registramos la contribución de los elementos del papel y de la tinta) y de la zona sin tinta (en este espectro registramos únicamente la contribución de los elementos del papel). Del análisis de dichos espectros concluimos que la tinta está integrada por S, Cr, Fe, Cu y Zn, lo que la incluiría en la categoría de las metalogánicas. El papel está compuesto, fundamentalmente, por K y Ca. El hierro presente en el papel podría proceder de las planchas utilizadas en su fabricación.

El grabado titulado «El último Abencerraje» es una lámina de 22.5 × 16.3 cm fechado en el año 1842 y firmado por T. Blasco Soler, que representa a un hombre con vestiduras orientales y una doncella. La lámina presenta una mancha amarillenta en toda su periferia que se va difuminando a medida que se aleja del borde, lo cual parece indicar es debida a un agente externo y que la lámina estaba guardada entre otras láminas u otros documentos quedando su perímetro en contacto con el aire. Los espectros de XRF que presentamos en la figura 2 corroboran estas afirmaciones. Hemos analizado diversos puntos de la lámina desde el mismo borde exterior hacia el interior (a distancias de 2, 5 y 7 mm). En los espectros podemos observar que existen 5 elementos significativos: S, P, Ar, K y Ca. El Ar procede del aire que se encuentra entre el tubo de rayos-X y la muestra y, por lo tanto, no es integrante de la lámina. El P, K y Ca son elementos integrantes del papel. Queda, pues, el azufre (S) como candidato a formar parte del agente externo que produjo la mancha. Además, el análisis de los espectros nos da un indicio más en este sentido: si comprobamos la intensidad de los picos de los espectros de XRF, los correspondientes al P, Ar, K y Ca permanecen constantes a medida que nos desplazamos del borde hacia el interior; en cambio, el pico correspondiente al S disminuye su intensidad a medida que el punto de análisis se aleja del borde. Por último, cabe señalar que nuestra hipótesis de que el contaminante externo contenía azufre es bastante probable, ya que averiguaciones posteriores revelaron que la lámina estuvo almacenada, junto con otros documentos, en un cobertizo abierto expuesto al humo de una estación de ferrocarril situada en las proximidades.

CONCLUSIONES

La técnica de fluorescencia de rayos-X (XRF) se presenta como una herramienta no destructiva que permite identificar, de una manera rápida, sencilla y fiable, los elementos que integran la composición de tintas, papel e incluso identificar los agentes que producen alteraciones en los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

CARRIVEAU, G. W. y SHELLEY, M.

(1982) *A study of Rembrandt drawings using X-ray fluorescence*. Nucl. Instr. and Meth., 193, 297-301.

FERRERO, J. L.; ROLDÁN, C. y MATA, C.

(1997a) *Análisis gravimétrico y por fluorescencia de rayos-X de ornamentos de plata procedentes de poblados ibéricos valencianos (ss. iv-iii a.c.)*. II Congreso Nacional de Arqueometría, Zaragoza 16-19 septiembre de 1997.

FERRERO, J. L.; ROLDÁN, C.; NAVARRO, E.; RODRÍGUEZ, M.; ARDID, M.; MARZAL, M.; ALMIRANTE, J. e INEBA, P.

(1997b) *Estudio mediante fluorescencia de rayos-X de pigmentos amarillos en retablos valencianos de los siglos XV y XVI*. II Congreso Nacional de Arqueometría, Zaragoza 16-19 septiembre de 1997.

GIUNTINI, L.; LUCARELLI, F.; MANDÓ, P. A.; HOOPER, W. y BARKER, P. H.

(1995) *Galileo's writings: chronology by PIXE*. Nucl. Instr. and Meth. B95, 389-392.

KUSKO, B. H.; CAHILL, T. A.; ELRED, R. A. y SWAB, R. N.

(1984) Nucl. Instr. and Meth. B3, 689.

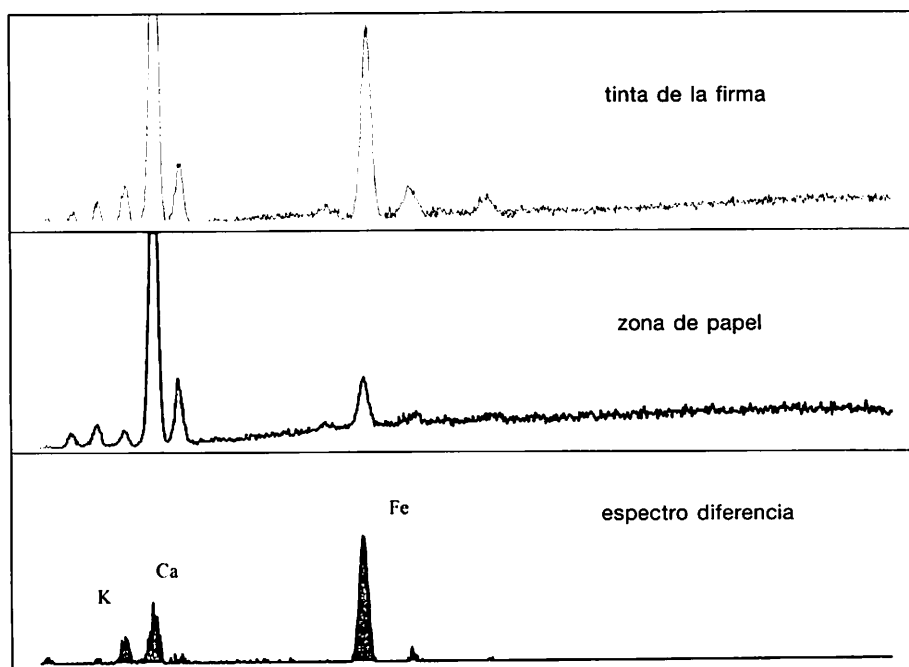


Figura 1. Espectro de fluorescencia de rayos-X correspondiente a un acta notarial del siglo XVII.

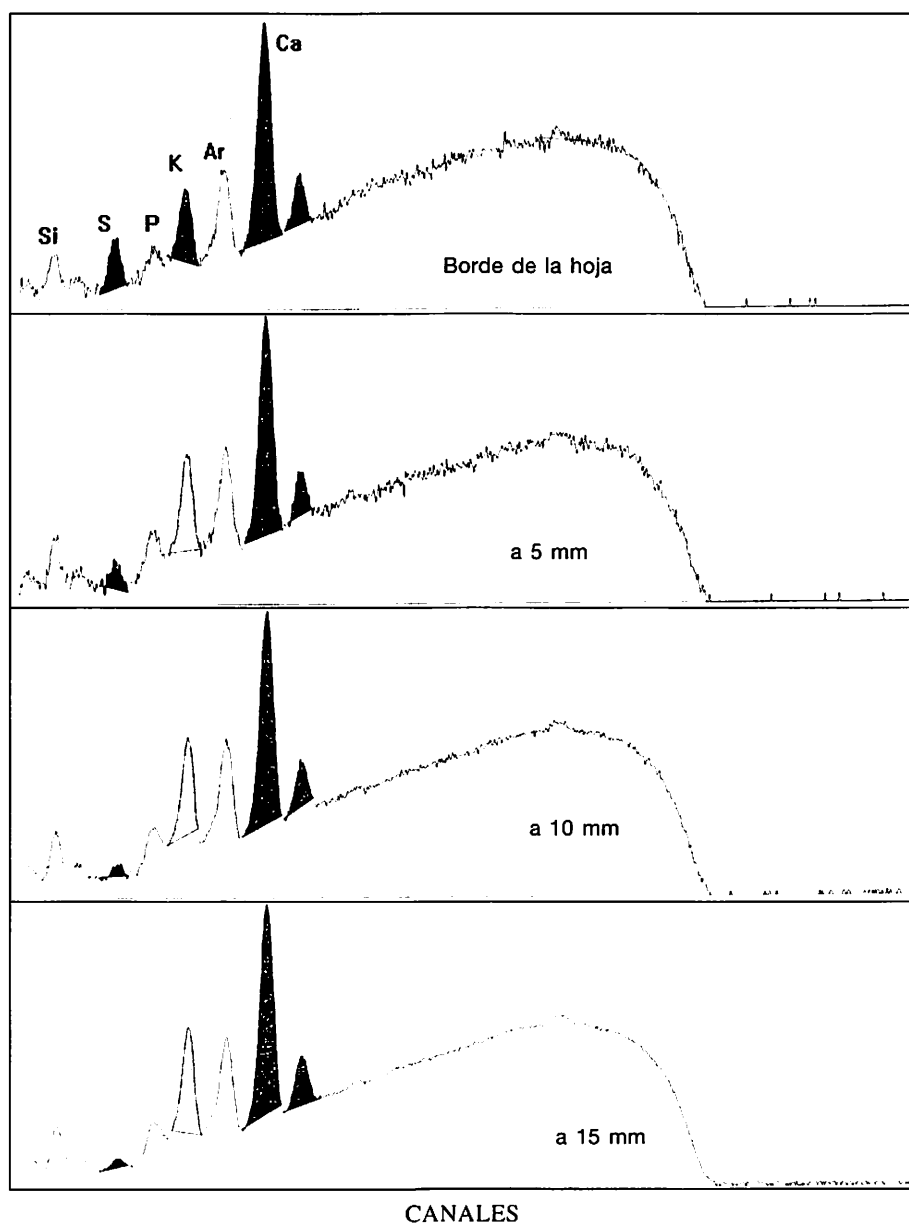


Figura 2. Espectros de fluorescencia de rayos-X de manchas en el borde e interior de un grabado del siglo XIX.

PROBLEMAS PETROGRÁFICOS EN LA IDENTIFICACIÓN DE MÁRMOLES CLÁSICOS: DIFERENCIACIÓN DE CARRARA Y BORBA

por

M. P. LAPUENTE MERCADAL¹

RESUMEN

El análisis de las características petrográficas de un mármol es una técnica de gran aplicación en la identificación de su procedencia. Sin embargo, ocasionalmente los parámetros composicionales, granulométricos y texturales de un mármol, definidos al microscopio óptico de polarización, pueden presentar limitaciones en su determinación. En este sentido, analizamos los problemas petrográficos que presenta la diferenciación de algunos mármoles de las canteras de Carrara (Italia) y Borba (Portugal). Para solventar esta dificultad ha sido necesario aplicar otras técnicas complementarias (isótopos estables, luminiscencia) cuyos resultados han contribuido a su diferenciación. Estas técnicas han sido contrastadas en mármoles de piezas emblemáticas de la Colonia Augusta Emerita, actualmente depositadas en el Museo Nacional de Arte Romano de Mérida.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales objetivos en el estudio arqueométrico de material lítico es la determinación de la procedencia original de las piezas arqueológicas halladas en las excavaciones o de las depositadas en los Museos. Cuando se trata de piezas esculpidas en mármol, el estudio se dirige a la identificación de la cantera original que suministró esta materia prima.

La importancia de este estudio radica en las múltiples aplicaciones que pueden derivarse de la identificación de un mármol, ya que por una parte podrán extraerse *conclusiones artístico-históricas* que ayuden a establecer los pa-

1. Área de Petrología y Geoquímica. Fac. Ciencias Geológicas. Univ. Zaragoza

trones del comercio y la organización económica en el pasado, además de facilitar la comprensión de las interconexiones entre las canteras y los talleres, su especialización, el movimiento de los artistas itinerantes, etc. Esta investigación resulta además imprescindible para aquellas piezas en las que se cuestiona su autenticidad y facilita la recomposición y restauración de las obras arqueológicas que se encuentran fragmentadas.

En la cuenca mediterránea, preferentemente en Italia, Grecia y Asia Menor han sido explotados los mármoles alpinos desde los tiempos clásicos para escultura, retratos, sarcófagos, etc. En la España romana, algunos de estos mármoles fueron importados directamente de las principales canteras (Carrara, Pentélico, Himeto, Paros, Naxos, Mármara,...). Sin embargo, también se tiene evidencia de la explotación de los mármoles locales por la presencia de improntas de extracción antigua en algunas canteras de la Península Ibérica (Cisneros, 1988) y se ha constatado su utilización en distintas piezas arqueológicas romanas de los principales Museos (Lapuente *et al.*, 1988; Nogales, 1996).

El planteamiento de estudio en la identificación de los mármoles clásicos requiere disponer de una amplia base de datos con las características composicionales y rasgos físicos y/o químicos de las principales zonas marmóreas explotadas en la antigüedad.

EL ESTUDIO PETROGRÁFICO

El estudio de identificación de un mármol siempre se aborda con la aplicación de una de las técnicas más sencillas, el análisis petrográfico con una doble vertiente: el análisis de la pieza arqueológica y el de las muestras de canteras de comparación. Ya desde finales del siglo pasado viene siendo utilizada con esta aplicación específica y, aun hoy en día, sigue empleándose como caracterización previa a cualquier otro tipo de análisis físico o químico más sofisticado. Se basa en el estudio bajo microscopio de luz transmitida de los parámetros composicionales, granulométricos y texturales.

A) *Parámetros discriminantes*

En relación a los *componentes mineralógicos*, es importante caracterizar tanto los minerales esenciales (calcita y/o dolomita), como los accesorios (cuarzo, feldespatos, micas, epidotas, óxidos y sulfuros de hierro, etc.). La presencia de calcita y/o dolomita puras o con un porcentaje variable de impurezas permite la identificación directa de algunos mármoles, como los puramente dolomíticos de Tasos. Para esta diferenciación, y en particular para la distinción entre carbonatos, es necesaria la tinción previa de la lámina delgada con rojo de Alizarina S, que permite identificar dolomita de calcita, al presentar una respuesta de color diferente.

Entre los *parámetros granulométricos*, la determinación del tamaño máximo de grano es un aspecto característico de los mármoles de diversas canteras. Así por ejemplo, atendiendo a este rasgo pueden caracterizarse claramente al-

gunos mármoles que presentan una granulometría extrema, como los de Tasos o Naxos con tamaño de grano muy grueso, o los de Carrara con tamaño muy fino. Pero además puede ser discriminante el caracterizar el grado de homogeneidad en el tamaño de grano, así entre los mármoles de grano fino, es el de Carrara el que presenta un tamaño más homogéneo (Moens *et al.*, 1988).

Respecto a los *aspectos texturales*, que dependerán de la textura primitiva de la roca sedimentaria, de las propias condiciones del metamorfismo y de los cambios tectónicos sufridos, pueden relacionarse atendiendo a diferentes categorías: a) *intragranulares*, b) *intergranulares* y c) *supragranulares*.

Así entre las primeras podríamos distinguir: planos de exfoliación, inclusiones y diversos rasgos de deformación mecánica (propiedades ópticas anómalas, planos de exfoliación curvados, maclas alabeadas, bandas de deformación, etc.), que definirán diversos tipos texturales (granoblástica elongada, deformada).

Por lo que se refiere a los aspectos *intergranulares*, además de la relación de tamaño a veces ocasionada por microgranulación, son destacables la forma de los bordes de grano (rectos, curvados, suturados, lobulados, etc.), así como las posibles orientaciones preferentes. Estos parámetros ayudan a definir algunas texturas tipomórficas, granoblásticas (xenoblásticas, idioblásticas). Entre ellas, la textura *granoblástica poligonal*, propia de una caliza pura sometida a un metamorfismo de elevada T.² y escasas condiciones de deformación, está constituida por cristales de grano fino con contornos poligonales (5 ó 6 lados) y bordes de grano netos, rectos o poco curvados, delimitan puntos triples.

Entre los aspectos *supragranulares* cabe reseñar la presencia de microfisuras, microfracturas, poros y los diversos grados de granulación y trituración ocasionados por un creciente grado de cataclasis, que pueden dar lugar a diversos tipos texturales (facoidal, flaser y «en mortero»; milonítica, brechoide).

B) Problemas de identificación

Ya se ha mencionado que en el estudio de mármoles, es necesario disponer de una litoteca de muestras representativas de las principales zonas marmóreas explotadas en la antigüedad, con el objeto de comparar su composición y textura a través del estudio petrográfico².

Con este doble análisis, el de la muestra y el de la cantera de comparación, puede determinarse en muchos casos la procedencia geológica del material utilizado en la elaboración de la pieza arqueológica en cuestión. Sin embargo, en ocasiones el estudio petrográfico se ve dificultado por dos circunstancias: la heterogeneidad textural e incluso composicional en una misma cantera o en un conjunto de focos de extracción del mismo distrito canterable y, por otra parte, también es posible que mármoles de distintas canteras presenten una similitud textural y composicional que complica el estudio de procedencia.

2. En la actualidad, nuestra litoteca cuenta con muestras de mármoles españoles, portugueses, franceses, belgas, italianos, griegos y turcos, así como una extensa colección de brechas y otras rocas comúnmente utilizadas en la antigüedad. Además disponemos de una amplia base de datos fotográfica de algunas famosas colecciones como la Corsi expuesta en el University Museum de Oxford.

La primera dificultad obliga a realizar un muestreo exhaustivo que garantice la representatividad de las muestras de cada cantera, y la segunda fuerza a aplicar otras técnicas complementarias de análisis que ayuden a discriminar entre las dos posibles fuentes. Por ello es frecuente realizar un estudio multi-método, valorando los resultados de varios análisis.

Éste es precisamente el problema que tratamos de resolver con los mármoles de algunas canteras de Carrara (Italia) y los de Borba (Portugal) que presentan una textura petrográfica muy semejante.

LOS MÁRMOLES DE CARRARA

El mármol de Carrara forma parte de una formación geológica de edad Jurásico Inferior de los Alpes Apeninos, en el Norte de Italia. En esta Cadena se reconocen dos unidades tecto-estratigráficas principales: la secuencia del manto de Toscana no metamórfico y las series metamórficas autóctonas. (Carmignani *et al.*, 1978). Estas últimas comprenden una unidad detrítica basal, con rocas paleozoicas a triásicas, superpuestas por secuencias carbonatadas y evaporíticas de edad Triásico a Oligoceno. En ellas el mármol de Carrara, conocido como Mármol Hetangiense por su edad, se dispone sobre la Dolomía de Grezzoni por medio de la Brecha Seravezza que puede seguirse a lo largo del contacto entre los dos conjuntos.

El mármol de Carrara fue denominado «Luni» por los romanos debido al nombre de la ciudad portuaria situada a escasos 20 Km de las canteras, a partir de la que se distribuía el material a todo el Imperio. Comenzó su explotación en el Siglo II a. C., para decaer su intensa explotación hacia el año 363 d. C. En época medieval las explotaciones fueron esporádicas para resurgir de nuevo en el Renacimiento hasta nuestros días. En época romana se explotaron tres áreas con diversas canteras en cada una: *Torano* (Mandria, Polvaccio, Sponda, Crestola), *Miseglia* (Fantiscritti, La Tagliata, Canalgrande) y *Colonnata* (Fossacava, Calagio, Bacchiotto) todas ellas en el Distrito de Carrara, mientras que las canteras renacentistas del Distrito de Seravezza comenzaron su explotación en 1515. (Dolci, 1980).

La calidad del mármol de Carrara, debida a su tamaño de grano y su pureza de color, le confiere su enorme popularidad como roca ornamental y especialmente para escultura. Desgraciadamente estas mismas características eran las utilizadas por los griegos y romanos para seleccionar mármoles de otras zonas, como son, entre otros, los turcos de Anatolia o los portugueses del Alto Alentejo.

Petrográficamente el mármol del distrito de Carrara es bastante homogéneo, sin embargo presenta algunas diferencias composicionales y texturales (Herz & Dean, 1986). En general, está compuesto por calcita con un escaso o muy bajo porcentaje de minerales accesorios (<4%), entre los que cabe destacar: dolomita, moscovita, plagioclasa y epidota; además puede contener cuarzo, clorita, grafito, pirita, hematites y magnetita en cantidades mínimas. Los mármoles procedentes de la cantera de Manglia contienen pirita y magnetita como

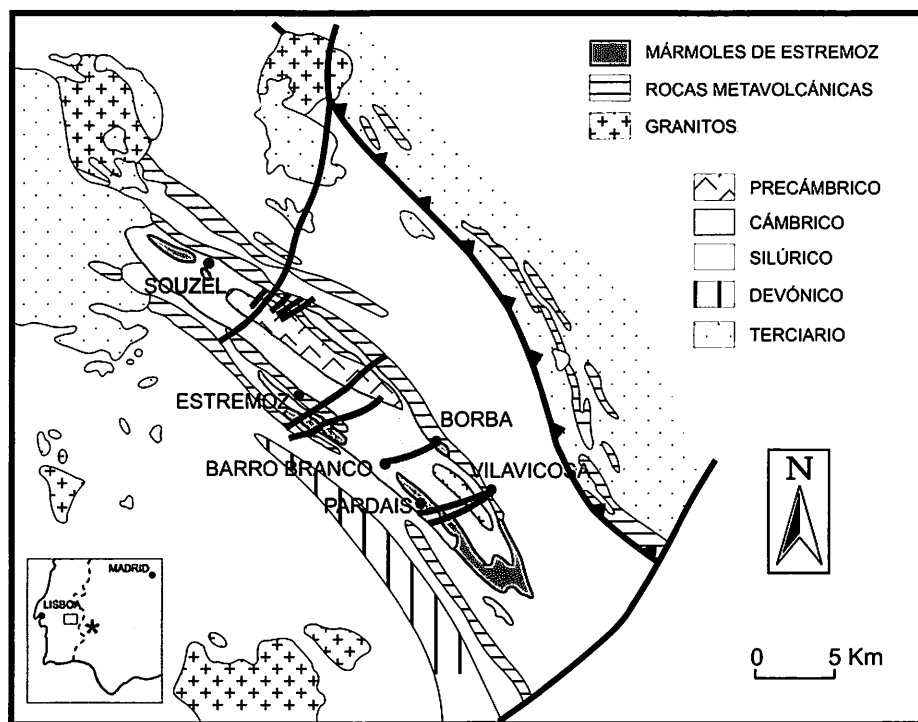


Figura 1. Mapa geológico del Alto Alentejo, Anticlinal de Estremoz (Portugal).

accesorios y los de Sponda presentan accesoriamente dolomita. Respecto a su textura, muestran un mosaico equigranular de tamaño fino (<1 mm de diámetro) de cristales idiomorfos a subidiomorfos, con contornos poligonales y bordes de grano netos, rectos o poco curvados, delimitando puntos triples.

No obstante, algunas variedades muestran una textura inequigranular con una distribución bimodal de tamaños y cristales elongados con una orientación preferente, incluso con capas alternantes de distinto tamaño y orientación preferente. Igualmente es común en los mármoles de la cantera de Fantiscritti encontrar límites entre los granos de calcita con bordes ligeramente suturados que desvirtúan la textura general poligonal «en mosaico».

LOS MÁRMOLES DE BORBA

Borba es una localidad del Alto Alentejo en Portugal, próxima a Estremoz y a escasos kilómetros de la frontera española cercana a la Colonia romana *Emerita Augusta*, actual Mérida (Fig. 1).

Geológicamente forma parte del Macizo Hespérico en su Zona de Ossa Morena constituida ésta por rocas metamórficas regionales del Precámbrico al

Carbonífero e intrusiones plutónicas hercínicas. Las canteras de mármol se localizan en las series carbonáticas Cámbrico-Ordovícicas que afloran en estructuras hercínicas con orientación NW-SE. El anticlinal de Estremoz corresponde a una de estas estructuras, donde los llamados mármoles de Estremoz han sido explotados desde época romana en diversas canteras (Estremoz, Barro Branco, Pardais, Vilaviçosa, Borba, Souzel) (Lapuente, 1995).

Petrográficamente los mármoles del anticlinal de Estremoz son calcíticos con algunas trazas de composición dolomítica. Presentan la característica común de contener cuarzo, ya sea como mineral accesorio (Vilaviçosa) o como componente muy minoritario (<1%). Sin embargo, en cuanto a granulometría y textura pueden diferenciarse diversos litotipos según la cantera de procedencia (Lapuente y Turi, 1995). De ellos, los de Borba se caracterizan por ser los de grano más fino (<1 mm) y color blanco uniforme o con escasos moteados grisáceos. Muestran textura en mosaico ligeramente heteroblástica (inequigranular) a veces con orientación preferente de sus cristales elongados. Estas características texturales los asemejan petrográficamente a algunos de los mármoles del distrito de Carrara, y en concreto a los de la cantera de Fantiscritti.

APLICACIÓN DE OTRAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS

Para solventar esta dificultad de discriminación entre los mármoles de ambas localidades se han determinado las relaciones de sus isótopos estables de C y O y se han medido los rangos de emisión luminiscente.

Para los análisis de isótopos se extrajo CO₂ por reacción con H₃PO₄ 100% a 25 °C, usando un equipo de extracción al vacío. Las abundancias relativas de los isótopos de ¹³C y ¹⁸O se determinaron con el espectrómetro de masas FINNIGAN MAT 252 de la Universidad «La Sapienza» de Roma³. Los resultados se expresan en términos de δ¹³C and δ¹⁸O, en ‰ relativo al patrón internacional PDB. Los resultados obtenidos, con una precisión analítica mejor del 0.1 ‰ para ambas determinaciones, se han representado conjuntamente con el resto de mármoles de Estremoz y los valores dados para las canteras de Carrara por Moens *et al.*, (1992). (Fig. 2).

En dicho diagrama se muestran claramente las diferencias existentes en las correspondientes relaciones isotópicas de los mármoles de Estremoz incluido Borba) y los de las diferentes canteras de Carrara. Igualmente se han proyectado los valores obtenidos, con igual metodología, de varias piezas arqueológicas depositadas en el Museo Nacional de Arte Romano de Mérida⁴.

Por su parte, la técnica de catodoluminiscencia recientemente utilizada con éxito para diferenciar entre sí algunos mármoles clásicos por sus catodomicrofacies (Barbin *et al.* 1989, 1991, 1992) está resultando por sí sola insuficiente

3. La autora agradece las facilidades prestadas al *Consiglio Nazionale delle Ricerche* de Italia por permitir la utilización del Laboratorio de Isótopos Estables del *Centro di Studi per il Quaternario e l'Evoluzione Ambientale*, de la Universidad «La Sapienza».

4. Para un mayor detalle se recomienda al lector el trabajo de Lapuente *et al.*, en prensa.

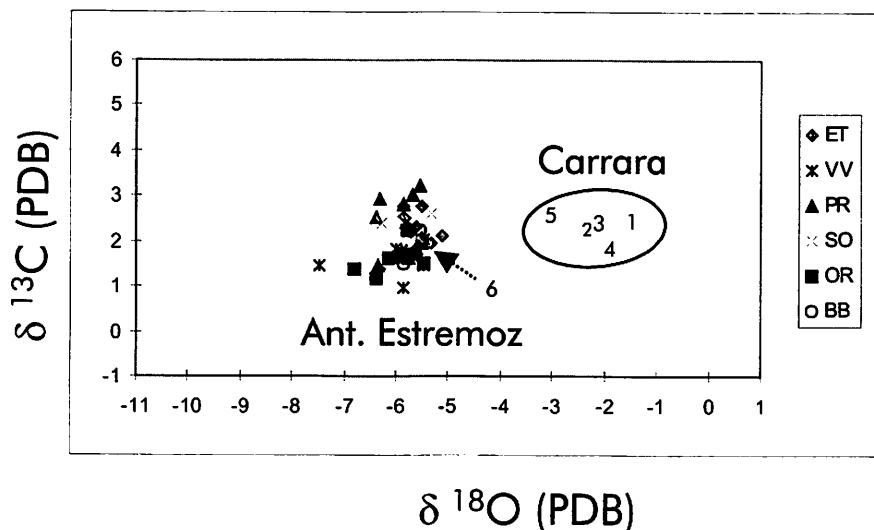


Figura 2. Relaciones isotópicas de los mármoles de Estremoz: ET:Estremoz; VV:Vilaviçosa; PR: Pardais; So: Souzel; Or: Borba; BB:BarroBranco. Piezas analizadas del Museo Nac. Arte Romano de Mérida: 1: Cabeza del Genio de la Colonia (27744). 2: Cabeza masculina con taenia (33677). 3: Retrato de Augusto (1034). 4: Togado (691). 5: Cabeza masculina «tipo Monteverde» (9360). 6: Clipeo con boca y decoración de entorchado.

para discriminar entre mármoles de un mismo distrito canterable (Lapiente *et al.*, en prensa). Sin embargo, sí parece ser prometedora la utilización de un detector espectrométrico de CL acoplado a un MEB para su cuantificación, y así diferenciar los rangos de emisión de los mármoles de cada distrito canterable (Blanc, 1995 a, b).

Para realizar esta determinación se seleccionaron muestras de distintas canteras hispanas, tomando 3 mg de polvo comprimido. Se utilizó el equipo diseñado en la Universidad *Pierre et Marie Curie* de París⁵, consistente en una platina refrigeradora, un espectrómetro *Jobin-Yvon* y un fotomultiplicador *AsGa Hamamatsu* acoplados a un MEB *Jeol JSM 840A*. Se trabajó a temperatura ambiente y a T próxima a 200°K (enfriada por nitrógeno líquido) en un rango espectral entre 200 y 900 nm. Se valoraron las intensidades registradas a 615-650 nm y a 350 nm⁶ y se proyectaron en un diagrama junto con los valores dados por Blanc (en prensa) para las canteras de Carrara (Fig. 3) donde observamos la diferente respuesta obtenida para los mármoles de Estremoz (Borba) y los italianos.

5. Agradecemos al Dr. Blanc las facilidades prestadas en su laboratorio.

6. La intensidad se relaciona con la emisión de un patrón YAG: Nd a 620 nm. La unidad es la milésima parte de esa emisión.

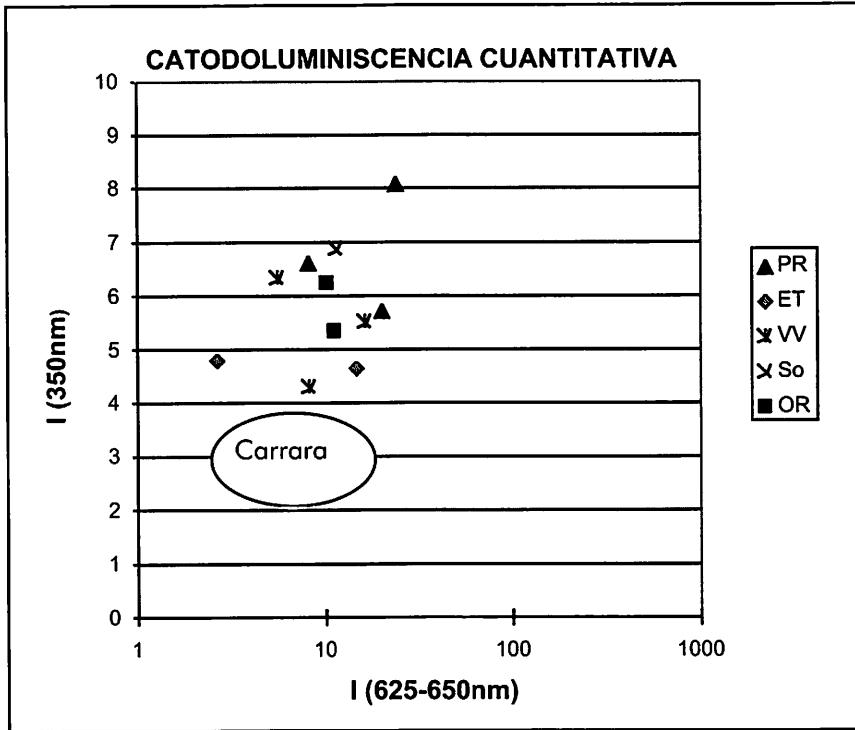


Figura 3. Relaciones de Intensidad de Catodoluminiscencia de los mármoles de Estremoz (siglas comunes a la figura 2) y valores dados para Carrara por Blanc (en prensa).

CONCLUSIONES

Se exponen los parámetros petrográficos que facilitan la descripción e identificación de los mármoles usados en la antigüedad, valorando los problemas que presenta la utilización de esta técnica. Se estudian petrográficamente los mármoles del Anticlinal de Estremoz, observando la similitud textural y composicional entre los mármoles de Borba y los correspondientes a algunas canteras de Carrara (Italia). Se aplican otras técnicas complementarias para su discriminación. Entre ellas, las relaciones isotópicas de C y O resultan de gran utilidad y se contrastan con algunas de las piezas más emblemáticas del Museo Nacional de Arte Romano de Mérida. Por su parte, la diferente distribución de catodoluminiscencia obtenida para las muestras analizadas facilitará, sin duda, las futuras investigaciones sobre la identificación de piezas talladas en mármol de Carrara y en mármol hispano.

BIBLIOGRAFÍA

- BARBIN, V., RAMSEYER, K., DECROUEZ D. y HERB, R.,
(1989) Marbres blancs, caractérisation par cathodoluminescence. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 308, 861-866.
- BARBIN, V., RAMSEYER, K., BURNS, S. J., DECROUEZ, D., MAIER, J. L. y CHAMAY, J.,
(1991) Cathodoluminescence signature of white marble artefacts. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 185, 299-308.
- BARBIN, V., RAMSEYER, K., DECROUEZ, D., BURNS, S. J., CHAMAY, J. y MAIER, J. L.,
(1992) Cathodoluminescence of white marbles: an overview. *Archaeometry*, 34, 2, 175-183.
- BLANC, Ph.,
(1995a). A cathodoluminescence Spectrometer built for an SEM JSM840A: First results on minerals and white marbles. In Y. Maniatis, N. Herz & Y. Basiakos (ed). *The Study of Marble and other stones used in Antiquity*, Archetype Publ., 137-141.
- (1995b). Caractérisation des marbres blancs par cathodoluminescence. In: *Les marbres blancs des Pyrénées, approches historiques et scientifiques*. Entretiens d'archéologie et d'histoire. Saint-Bertrand-de-Comminges, 59-69.
- (en prensa) La quantification de la cathodoluminescence des marbres blancs, et de leurs minéraux accesorios, complement utile à la détermination de provenance de ces matériaux. Actes d'ASMOSIA IV. Univ. Bordeaux III.
- CARMIGNANI, L., GIGLIA, G. y KLIGFIELD, R.,
(1978) Structural evolution of the Apuane Alp: an example of continental margin deformation in the Northern Apennines, Italy. *J.Geol.* 86, 487-504.
- CISNEROS, M.,
(1988) *Mármoles Hispanos: Su empleo en la España Romana*. Dpto. Ciencias Antigüedad. Univ. Zaragoza.
- DOLCI, E.,
(1980) *Carrara Cave Antiche*. Presso la Litocomp, Viareggio, Italy.
- HERZ, N. y DEAN, N. E.,
(1986) Stable isotopes and archaeological geology: the Carrara marble, northern Italy. *Applied Geochemistry*, 1, 139-151.
- HERZ, N. y WAELENS, M. (Ed),
(1988) *Classical marble: Geochemistry, Technology, Trade*. NATO ASI Series, E-153, 482 p.
- LAPUENTE, M. P.
(1995) Mineralogical, petrographical and geochemical characterization of white marbles from Hispania. In Y. Maniatis, N. Herz & Y. Basiakos (ed). *The Study of Marble and other stones used in Antiquity*, Archetype Publ. 151-160.

LAPUENTE, M. P. y TURI, B.

(1995) Marbles from Portugal: Petrographic and isotopic characterization. *Science and Technology for Cultural Heritage*, 4 (2), 33-42.

LAPUENTE, M. P., CISNEROS, M. y ORTIGA, M.,

(1988) Contribución a la identificación de mármoles españoles empleados en la antigüedad. Estudio histórico y petrológico. *Not. Arqueol. Hisp.*, 30, 255-274.

LAPUENTE, M. P., TURI, B., LAZZARINI, L. y NOGALES T.,

(en prensa) Provenance investigation of white marble sculptures from *Augusta Emerita, Hispania*. Actes d'ASMOSIA IV. Univ. Bordeaux III.

MOENS, L., ROOS, P., DE RUDDER, J., DE PAEPE, P., VAN HENDE, J. y WAELEKENS, M.,

(1988) A multi-method approach to the identification of white marbles used in Antique Artifacts. In: *Classical marble: Geochemistry, Technology, Trade. N. Herz and M. Waelkens, ed. NATO ASI Series*, 153, 243-250.

MOENS, L., DE PAEPE, P. y WAELEKENS, M.

(1992) Multidisciplinary research and cooperation: keys to a succesful provenance determination of white marbles. In: «*Ancient Stones: Quarrying, Trade and Provenance*», M. Waelkens, N. Herz & L. Moens, ed. Act. Archaeol. Lovaniensia Monogr., 4, 247-254.

NOGALES T.,

(1996) El retrato privado en Augusta Emerita. Badajoz, Tesis Doctoral, en prensa. Vid. capítulo «Materiales y técnicas de trabajo».

ORIGEN DE LA OBSIDIANA DE DOS SITIOS DE LA CULTURA LA TOLITA-TUMACO (ECUADOR) DETERMINADO MEDIANTE CARACTERIZACIÓN DOBLE POR ANÁLISIS PIXE Y DATACIÓN POR TRAZAS DE FISIÓN

por

E. BARTOLOMÉ^{1,2*}, L. BELLOT-GURLET¹, O. DORIGHEL¹,
G. POUPEAU¹, E. LABRIN¹, A. YÉPEZ³

RESUMEN

El análisis PIXE y la datación por Trazas de Fisión se combinan para estudiar la procedencia de 9 artefactos de obsidiana de dos sitios arqueológicos en la isla de La Tolita (Ecuador) de los períodos Formativos-Desarrollos Regionales de la prehistoria andina. Las medidas por PIXE de los artefactos permiten asociar las muestras a dos grupos geoquímicos diferentes: Mullumica y Callejones. La datación de 3 de ellas revela que 2 proceden de la fuente, datada en 0.25-0.30 Ma, de localización desconocida. La tercera, por su edad de 0.019 Ma, podría relacionarse con la fuente de Cotopaxi recientemente descrita.

INTRODUCCIÓN

La obsidiana es un vidrio volcánico de gran interés arqueométrico debido a que, por un lado, este material lítico fue ampliamente utilizado por el hombre prehistórico en la fabricación de objetos cortantes y ornamentales, y, por otro, debido a sus propiedades físico-químicas resulta un material fácilmente caracterizable con vistas a la averiguación de su origen. Este tipo de estudios

* Dirección actual: Grupo de Bajas Temperaturas, Facultad de Física Aplicada, Universidad de Twente, Enschede, Holanda.

1. Grupo de Geofísica Nuclear UPRES-A 5025 del CNRS – Universidad Joseph Fourier. Instituto Dolomieu, 15 calle Maurice Gignoux, 38031 Grenoble, Francia.

2. Facultad de Ciencias. Depto. de Física de la Materia Condensada, Universidad de Zaragoza, España.

3. Dpto. de Arqueología. Museo del Banco Central, Quito, Ecuador.

informan acerca de la estrategia de explotación de fuentes de materia prima seguida por un determinado grupo humano, y establecen los intercambios culturales de los que fue objeto este prestigioso material.

Miller y Wagner [1] realizaron los estudios de procedencia pioneros aplicados a obsidias de América Latina que se desarrollaron en los años 90 [2, 3, 4]. Los primeros trabajos publicados basaban la pertenencia de un artefacto a una u otra fuente de materia prima en la caracterización geoquímica de las obsidias, mediante técnicas de análisis tales como la INAA (Análisis por Activación Neutrónica Instrumental) y el XRF (Análisis de Fluorescencia X).

Sin embargo, la caracterización única de los materiales por su composición puede inducir a errores en la asignación de un artefacto a su fuente. En efecto, este solo parámetro no permite discriminar fuentes distintas que posean la misma composición elemental. Además, la atribución puede resultar ambigua si las coladas de obsidiana son heterogéneas, caso infrecuente pero posible en la naturaleza [2].

El grupo de Grenoble introdujo entonces un método original capaz de resolver estos problemas. Éste consistía en la caracterización de los materiales por dos vías: el análisis multielemental por PIXE (*Proton Induced X-Ray Emission*), y la datación del vidrio por el método de las Trazas de Fisión (TF) [4, 5, 6].

En este trabajo se ejemplifica la utilidad de la doble caracterización PIXE-TF para investigar la procedencia de artefactos de dos sitios prehispánicos ecuatorianos.

CONTEXTO ARQUEOLÓGICO

Las muestras de obsidiana estudiadas se recogieron en dos sitios vecinos (La Cancha H9 y la tola Walberto) sobre la isla de La Tolita, ubicada en la desembocadura del río Santiago, sobre el litoral norte ecuatoriano (figura 1). Se trata de piezas de pequeño tamaño, lascas sin retoque o desechos de talla, que en el caso del sitio de Cancha H9 proceden de recolección en superficie [10, 11]. Cronológicamente estos dos asentamientos pertenecen al fin del Período Formativo (500-300 a.C.) y a la fase La Tolita clásica (300 a.C.-300 d.C.) que constituye uno de los Desarrollos Regionales de la periodificación crono-cultural del Ecuador. Durante esta fase, la isla de La Tolita tuvo un importante papel como metrópolis regional, controlando numerosos asentamientos repartidos desde la región de Esmeraldas, en Ecuador [12], hasta Buenaventura, en Colombia [13]. Asimismo, la isla constituyó una necrópolis donde importantes personajes de esta cultura eran inhumados. La Tolita es sobre todo conocida por las numerosas figurinas cerámicas antropomorfas y piezas de orfebrería en oro encontradas en las sepulturas de la isla. Estas sociedades practicaban una economía mixta basada en la explotación de los recursos marinos y de los manglares combinada con la agricultura [14].



Fig. 1. Localización geográfica de los sitios concernientes: Cancha9H (LT18) y Walberto (WLB1, 3, 4, 5, 6, 7 y 8). También se muestra la localización del total de sitios estudiados por el grupo de Grenoble. Centros de aprovisionamiento de obsidiana (fuentes conocidas descritas por Bigazzi *et al.* [7, 8]): En Ecuador, se encuentran en la Sierra de Guamaní: (fuentes de Mullumica [9], Callejones, Yurac Paccha, Potrerillos, El Tablón, Cerro Yanaurcu, Rodeo Corrales y Loma Quiscatola) y en el volcán de Cotopaxi. En Colombia, sólo se conocen depósitos secundarios: Río Hondo, cerca de Popayán y Granates, próximo a Morelia [3].

MÉTODOS EXPERIMENTALES

a) Análisis PIXE: Es una técnica de análisis multielemental basada en la detección de los rayos X producidos por la reorganización de los electrones de los átomos del blanco tras su excitación por bombardeo protónico. El espectro emitido es característico de los elementos que constituyen el blanco y de su concentración. Este método permite analizar pequeñas superficies de forma rápida y no destructiva, con una precisión entorno al 10%, y una sensibilidad del orden de los ppm. El dispositivo utilizado es la línea PIXE de haz externo del acelerador AGLAE instalado en el *Laboratoire de Recherche des Musées*

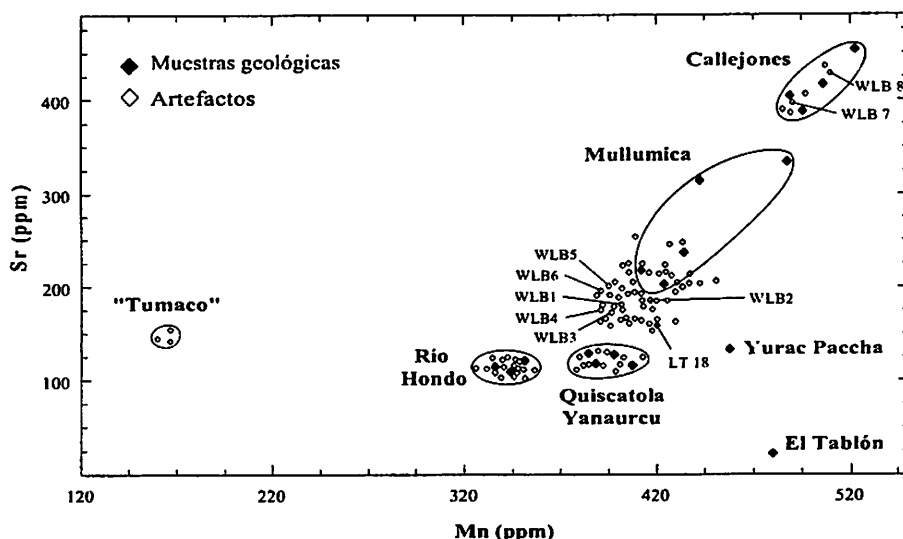


Fig. 2. Diagrama binario (Sr vs. Mn) mostrando la distribución de las muestras analizadas en grupos geoquímicos, conjuntamente con los datos obtenidos para otras muestras en trabajos previos [17].

de France, París [15]. Se realizan 3 puntos de análisis sobre cada muestra para evitar posibles problemas de inhomogeneidad en ésta. Para verificar la reproducibilidad de los resultados a lo largo de una o varias sesiones experimentales se mide una muestra a modo de patrón interno. Los espectros se tratan con el programa «GUPIX» que trabaja sin estándar externo [16]. Bajo estas condiciones de trabajo se logra determinar la concentración de los siguientes elementos mayores y trazas: Na, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Zn, Ga, Rb, Sr y Zr [6].

— **Resultados de los análisis PIXE:** Se representa en un diagrama binario (Sr/Mn) el conjunto de los análisis PIXE realizados hasta la fecha (figura 2). Se obtienen distintos diagramas binarios al tomar diferentes parejas de elementos, sin que la información cualitativa varíe, pero se ha escogido uno en el que de forma pictórica se distinguen los grupos geoquímicos con mayor claridad. Se constata que las muestras se reparten en grupos discretos de composición química característica. Entre ellos cabe destacar un grupo geoquímico de composición heterogénea: el grupo de Mullumica. Respecto a las muestras consideradas en este trabajo, se observa que el único artefacto de La Cancha H9, LT18, se asimila al grupo Mullumica. Los artefactos del sitio de Walberto, WLB 1-6, poseen una composición química que permite asimismo relacionarlos con el grupo Mullumica, mientras que WLB 7 y 8 pertenecen al grupo geoquímico de Callejones.

b) Datación por Trazas de Fisión: La fisión espontánea del ^{238}U origina dos núcleos hijo, que a su paso por el material dejan una traza latente. Estos

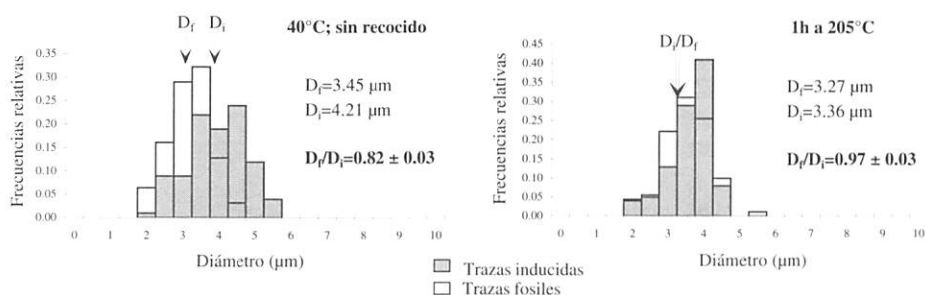


Fig. 3. (a) Distribución de diámetros de las trazas fósiles e inducidas (muestra WLB5): obsérvese el acortamiento inicial de las trazas fósiles respecto a las inducidas ($D_f/D_i < 1$). (b) Un tratamiento térmico de 1h a 205 °C acorta en mayor medida las trazas inducidas que las fósiles, por lo que D_f/D_i se aproxima a 1 (*plateau*). En estas condiciones, la edad que se obtendrá a partir de (1) será significativa. En ocasiones, pueden ser necesarios sucesivos calentamientos de 1h a temperaturas progresivamente crecientes para alcanzar el *plateau*.

defectos pueden visualizarse en un microscopio óptico tras un ataque químico que agranda su tamaño. La densidad de trazas de fisión espontáneas ρ_f es proporcional al tiempo t transcurrido desde que se formaron y a la concentración de ^{238}U . Para conocer ésta, una parte de la muestra se irradia en un reactor nuclear. Allí, la fisión de otro isótopo del uranio ^{235}U produce una densidad de trazas inducidas ρ_i , función de la concentración de ^{235}U y de la fluencia Φ de neutrones térmicos con que se irradia. Como la razón $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ es constante, se demuestra [ver i.e. 18] que la edad TF de un material plio-cuaternario viene dada por:

$$t = A \frac{\rho_f}{\rho_i} \Phi \quad (1)$$

donde A es una constante que agrupa varios factores. ρ_f se mide sobre la fracción de muestra no irradiada y ρ_i es la diferencia entre la densidad de trazas contadas sobre el fragmento irradiado ρ^* y ρ_f . La descripción pormenorizada del protocolo experimental seguido puede revisarse en [19]. Las trazas tienden a desvanecerse a la temperatura ambiente, lo que se manifiesta en un acortamiento del diámetro de las trazas fósiles D_f respecto al de las inducidas D_i , y ello conlleva un «rejuvenecimiento» de la edad calculada a partir de (1). Para obtener una edad significativa se aplica el método de las edades *plateau* [20], ejemplificado en la figura 3.

— **Resultados de las dataciones TF:** Sobre el conjunto de las muestras analizadas por PIXE, se dataron tres (WLB1, 5 y 6) procedentes del sitio de Walberto. Los resultados se resumen en la tabla 1. Se constata que, dada la débil densidad de trazas espontáneas en estas jóvenes muestras, la incertidumbre sobre la edad es relativamente importante. Por esta razón, se puede afirmar que, dentro de una incertidumbre 1σ , dos de las muestras (WLB5 y 6) son concordantes con edades *plateau* comprendidas entre 0.25 y 0.30 Ma. WLB1,

Sitio arqueológico	Muestra	Recocido (annealing)	P_r μcm^2 (N_r)	P_i $10^4 \mu\text{cm}^2$ (N_i)	Φ 10^{15}n/cm^2	Edad		Obs. D_e / D_i Obs.	
						Ma	1σ		
La Tolita/Walberto	WLB1	no	68 (14)	2.53 (2006)	1.188	0.019 ±	0.005	2	n. m.
	WLB5	no	537 (27)	1.71 (2256)	1.188	0.22 ±	0.04	1	0.81 1
		1h/205°C	550 (92)	1.32 (2988)	1.188	0.30 ±	0.03	2	0.97 1
			600 (60)	1.56 (1561)	1.188	0.27 ±	0.04	1	
	WLB6	no	545 (62)	1.92 (2534)	1.188	0.20 ±	0.03	1	0.84 1
		1h/205°C	350 (36)	1.02 (2153)	1.188	0.25 ±	0.03	2	1.00 1
			411 (43)	1.29 (1292)	1.188	0.23 ±	0.04	1	

Tabla 1. Resultados de las dataciones por TF. Método de las edades *plateau* aplicado para hallar la edad significativa, en **negrita**, de las muestras WLB5 y 6. ρ_r y ρ_i , densidad de trazas espontáneas e inducidas respectivamente; Φ , fluencia de neutrones; N_r , N_i , número de trazas contadas respectivamente; D_r y D_i , diámetros medios de las trazas espontáneas e inducidas. Las incertidumbres relativas sobre la densidad y la edad calculadas según [21, 22]. Observadores: 1, Elena Bartolomé; 2, Erika Labrin.

con una edad (no *plateau*) de 0.019 Ma, constituye el artefacto más joven jamás datado en el Área Septentrional Andina. El método de las edades *plateau* para obtener una edad verdadera no pudo aplicarse en este caso, ya que éste requiere la medida de los diámetros de un número de trazas fósiles representativo estadísticamente, y en WLB1 este número es insuficiente ($N_r=14$). Sin embargo, por el aspecto de las trazas, la edad *plateau* no puede diferir mucho de la encontrada. Asimismo, la forma y tamaño de las trazas descarta que la baja densidad de trazas fósiles se deba al desvanecimiento de éstas por efecto del calor de un fuego (hogar, incendio).

INTERPRETACIÓN GLOBAL DE LOS RESULTADOS PIXE-TF Y DISCUSIÓN

Para interpretar conjuntamente los resultados del análisis geoquímico y de la datación, se emplea un diagrama 3-D construido a partir del diagrama composicional Sr/Mn de la figura 2, sobre el que se añade como tercera dimensión la edad de cada muestra datada (figura 4). Esta representación ilustra cómo muestras pertenecientes al mismo grupo composicional pueden distinguirse unas de otras por su edad, y proceden por tanto de fuentes distintas.

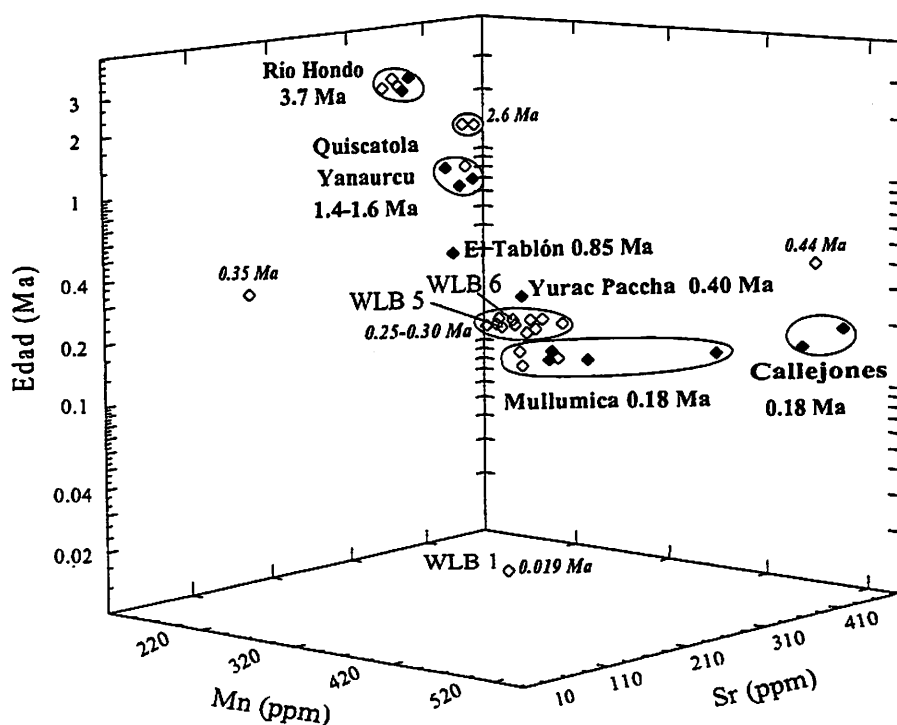


Fig. 4. Diagrama 3-D que combina la información composicional con la edad de las muestras de obsidiana y permite la distinción de las diferentes fuentes caracterizadas. ([22] y datos no publicados).

— Cultura La Tolita-Tumaco:

a) Sitio *Cancha H9*: la muestra LT18 se atribuye al grupo geoquímico Mullumica. Otras 9 muestras del mismo sitio se habían asignado ya a este grupo. La datación TF de 7 de ellas las relacionó con la fuente, de localización desconocida, «0.25-0.30 Ma» [4]. La edad de LT18 determinará en el futuro si ésta pertenece a la misma fuente. La combinación PIXE-TF mostró también [6] que otras dos fuentes fueron utilizadas: Yanaurcu-Quiscatola (1.4-1.7 Ma), y la fuente desconocida, «0.44 Ma», de composición análoga a la del grupo geoquímico Callejones.

b) Sitio *Walberto*: del análisis PIXE se deduce que WLB7 y 8 pertenecen al grupo geoquímico Callejones, mientras que WLB1-6 se relacionan con el grupo Mullumica. Además, la datación de WLB5 y 6 permite asignarlas a la fuente «0.25-0.30 Ma». WLB1 es el primer y único artefacto datado en 0.019 Ma. En el artículo de Bigazzi [8] en el que se caracteriza por TF el volcán de Cotopaxi, cercano a Quito, aparece una muestra (CTX73) datada en 0.018 Ma. Así, podría aventurarse un origen cotopaxiano para WLB1, aunque dado que

por el momento no existe una descripción composicional de la fuente, habrá que esperar los análisis geoquímicos en curso para confirmar esta procedencia.

CONCLUSIONES

En este trabajo se reafirma la importancia de la utilización conjunta de dos técnicas, el análisis PIXE y la datación por trazas de fisión, como método discriminatorio de fuentes de obsidiana. Las ventajas de este acercamiento doble se ponen de manifiesto claramente en la caracterización de la fuente de Mullumica (Ecuador). Ésta constituye uno de los raros ejemplos de colada heterogénea en el mundo. La sola caracterización geoquímica podría inducir erróneamente a considerar varias fuentes, cuando se trata de una única; en cambio la doble caracterización PIXE-TF logra definirla de forma unívoca. Además, en los primeros estudios realizados por Asaro *et al.* [2], se había subrayado la importancia de la fuente de Mullumica en la prehistoria de Ecuador, ya que por su composición química la mayoría de objetos de obsidiana se relacionaban con dicha fuente. En cambio, al datar por TF los artefactos, se observa que gran parte de los que se habían asimilado al grupo de Mullumica no pueden proceder de allí por su edad. Así, se diferencian tres fuentes distintas dentro del mismo «grupo geoquímico Mullumica»: la colada 0.17-0.18 Ma de Mullumica, otra, mayoritaria y de localización desconocida, datada en 0.25-0.30 Ma, y una última muy joven, de edad 0.019 Ma.

Sobre el conjunto de muestras y sitios arqueológicos estudiados hasta la fecha, se confirma la preponderancia de la fuente «0.25-0.30 Ma» en las culturas costeras nor-ecuatorianas y sur-colombianas durante los períodos Formativos y de los Desarrollos Regionales [22]. El área de influencia de esta fuente se representa en la figura 1. El estudio de sitios costeros al norte y sur de los ya investigados contribuirá a precisar la zona de difusión. Además, se desconoce por el momento la ubicación exacta de este depósito de materia prima. Sin embargo, la presencia de artefactos de esta fuente en al menos dos sitios del interior (Tababuela y María Olivia) podría indicar su localización en la cercana Sierra.

Se evidencia que la cultura de La Tolita explotó 3 fuentes: la mencionada «0.25-0.30 Ma», Quiscatola-Yanaurcu, y otra fuente desconocida «0.4 Ma». Además, la datación de la muestra WLB1 (Walberto) en 0.019 Ma, coincidente con la edad del volcán de Cotopaxi podría sugerir que se utilizó esta cuarta fuente. Las medidas PIXE de las muestras geológicas del lugar que se están llevando a cabo en la actualidad confirmarán esta posibilidad.

AGRADECIMIENTOS

Uno de nosotros (E. B.) agradece a la Unión Europea la financiación de la estancia «Erasmus», en el marco de la cual se llevó a cabo parte de éste y al UPRES-A 5025 del CNRS en Grenoble por su hospitalidad. Nuestro agrade-

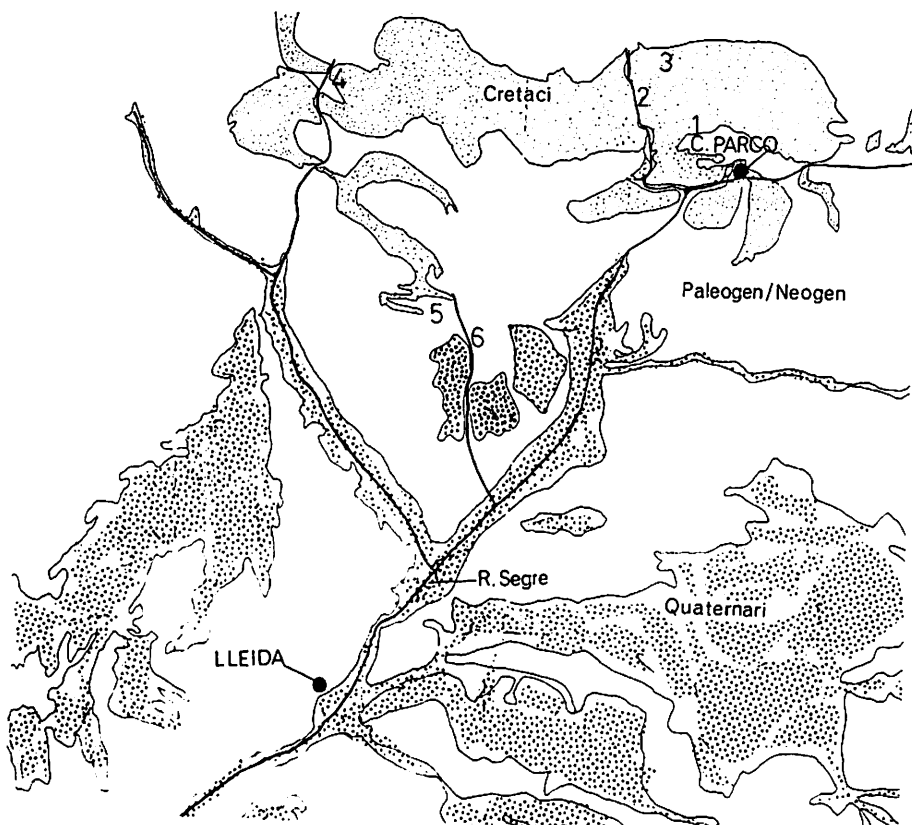
cimiento al equipo de «AGLAE» y especialmente al Dr. J.-C. Dran del *Laboratoire de Recherche des Musées de France*, Paris, por la concesión del tiempo de medida y su colaboración a largo plazo. Agradecemos también al Museo del Banco Central de Ecuador la cesión del material.

REFERENCIAS

- [1] MILLER, D. S. y WAGNER G. A.
(1981) Fission-track ages applied to obsidian artifacts from South America using the plateau-annealing and the track-size age-correction techniques, *Nucl. Tracks*, **5**, 147-155.
- [2] ASARO, F.; SALAZAR, E.; MICHEL, H. V.; BURGER, R. L. y STROSS, F. H.
(1994) Ecuadorian obsidian sources used for artifact production and methods for provenience assignments, *Latin Amer. Antiquity*, **5**, 257-277.
- [3] GNECCO, C.; GLASCOCK, M. D. y NEFF, H.
(1993) Chemical composition analyses of obsidian from La Elvira, SW Colombia, Missouri University Research Reactor, Resumen interno no publicado, Columbia, Missouri, pp. 20.
- [4] DORIGHEL, O.; POUPEAU, G., BOUCHARD, J.-F. y LABRIN, E.
(1994) Datation par traces de fission et étude de provenance d'artefacts en obsidienne des sites archéologiques de La Tolita (Equateur) et Inguapi (Colombie), *Bull. Soc. Préhist. Fr.*, **91**, 133-134.
- [5] POUPEAU, G.; BELLOT-GURLET, L.; DORIGUEL, O.; CALLIGARO, T.; DRAN, J.-C. y SALOMON, J.
(1996) PIXE et traces de fission: une approche des réseaux d'échanges de l'obsidienne dans l'aire andine préhispanique (Colombie, Equateur), *C.R. Acad.Sci. Paris*, **323**, serie IIA, 443-450.
- [6] BELLOT-GURLET, L.; CALLIGARO, T.; DORIGUEL, O.; DRAN, J.-C.; POUPEAU, G. y SALOMON, J.
(1996) On the coupling of PIXE and Fission Track dating for obsidian sourcing, *Inter. Assoc. Obsidian Studies Bull.*, **16**, 3-7.
- [7] BIGAZZI, G.; COLTELLI, M.; HADLER N., J. C.; OSORIO, A. A. M.; ODDONE, M. y SALAZAR, E.
(1992) Obsidian-bearing lava flows and pre-Colombian artifacts from the Ecuadorian Andes: first new multidisciplinary data, *J. South Amer. Earth Sci.*, **6**, 21-32.
- [8] BIGAZZI, G.; COLTELLI, M.; OSORIO, A. A. M. y HADLER, N. J. C.
(1997) Provenience studies of obsidian artefacts using fission-track analysis in South America: an overview, *Actas del 49 Congreso Internacional de Americanistas*, Quito, sesión ARQ 14, en prensa.
- [9] SALAZAR, E.
(1985) Investigaciones arqueológicas en Mullumica (provincia del Pichincha), *Miscelánea Antropológica Ecuatoriana*, **5**, 130-160.

- [10] BOUCHARD, J-F.
(1989) Archéologie préhispanique du littoral Pacifique nord-équatorial, *Bull. Soc. Préhist. Fr.*, **10/12**, 393-396.
- [11] VALDEZ, F.
(1987) Proyecto arqueológico La Tolita, Banco Central de Ecuador, Quito.
- [12] GUINEA, M.
(1984) Patrones de asentamiento en la arqueología de Esmeraldas (Ecuador), *Memorias de la Misión Arqueológica Española en el Ecuador*, **8**, Ministerio de Asuntos exteriores, Madrid.
- [13] SALGADO, H. y STEMPEL, D.
(1991) Cambios prehispánicos en cronología, patrones de asentamiento y subsistencia en las partes bajas de los ríos San Juan, Calima y Dagua, en San Agustín 200 años 1790-1990: seminario de arqueología del Macizo y el Suroccidente colombiano, F.I.A.N., Bogotá, 119-123.
- [14] PATIÑO, D.
(1995) Asentamiento, economía y ecología en el Pacífico prehispánico de Colombia y Ecuador, en: *Perspectivas regionales en la arqueología del suroccidente de Colombia y el Norte del Ecuador*, C. Gnecco Ed., Universidad del Cauca, Popayán, Colombia; 164-178.
- [15] CALLIGARO, T.; MACARTHUR, J. D. y SALOMON, J.
(1996) An improved experimental setup for the simultaneous PIXE analyses of heavy and light elements with a 3MeV proton external beam, *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.*, **B109-110**, 125-128.
- [16] MAXWELL, J. A.; CAMPBELL, J. L. y TEESDALE, W. J.
(1989) The Guelph PIXE software package, *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.*, **43**, 218-230.
- [17] BELLOT-GURLET, L.; POUPEAU, G.; DORIGHEL, O.; CALLIGARO, Th.; DRAN, J.-C. y SALOMON, J.
(1997) A PIXE/Fission-Track dating approach to sourcing studies of obsidian artefacts in Colombia and Ecuador, enviado a *J. Archaeological Sci.*
- [18] BARTOLOMÉ, E.,
(1996) PIXE et Traces de Fission: caractérisation d'artefacts en obsidienne de quelques sites archéologiques d'Equateur et de Colombie. Recherche de sources de matière première, *Rapport de stage «Erasmus»*, Université Joseph Fourier, pp. 39.
- [19] POUPEAU, G.; BIGAZZI, G.; BELLOT-GURLET, L. y DORIGHEL, O.
(1997) Fission-track dating of obsidians and archaeology, en *Synthèse sur l'obsidienne au Proche-Orient: du volcan à l'outil (géologie, géochimie, datation, archéologie)*, M.-C. Cauvin, A. Gourgaud, B. Gratuze, J.-L. Poindevin y G. Poupeau, Eds., BAR International Series, Oxford: Tempus Reparatum, en prensa.

- [20] STORZER, D. y POUPEAU, G.
(1973) Ages plateaux de verres et de minéraux par la méthode des traces de fission, *C. R. Acad. Sci., Paris*, **276D**, 137-139.
- [21] BIGAZZI, G.; BONADONA, F. y HADLER, N. J. C.
(1986) Contribution to statistics in fission track counting, *Nucl. Track*, **11**, 123-136.
- [22] DORIGHEL, O.; POUPEAU, G.; BELLOT-GURLET, L. y LABRIN, E.
(1997) «Fission track dating and provenience of archaeological obsidian artefacts in Colombia and Ecuador», en «*Advances in Fission-Track Geochronology*», P. Van den Haute y F. De Corte Eds., Kluwer Academic Publishers, en prensa.



CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA DE MATERIALES SILÍCEOS. EL EJEMPLO DE NIVEL II DE COVA DEL PARCO (ALÒS DE BALAGUER, LA NOGUERA, LLEIDA)

por

X. MANGADO¹, J. M.^a FULLOLA² y L. ROSELL³

RESUMEN

El presente trabajo nos ha permitido una mejor caracterización de los materiales silíceos del nivel II del yacimiento de la Cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera, Lleida) a partir de la comparación petrográfica entre ciertas muestras de los materiales arqueológicos, y muestras recuperadas mediante la prospección del territorio a la búsqueda de sílex. El presente artículo se extrae de los resultados de la tesis de licenciatura de uno de los autores (X. Mangado) que ha sido dirigida por los otros dos autores del mismo y se inscribe dentro del proyecto financiado por la DGICYT (PB96-0184) y el 1996 SGR-000050 de la Generalitat de Catalunya.

EL YACIMIENTO DE LA COVA DEL PARCO

El yacimiento de la Cova del Parco se localiza en la vertiente meridional del domo de San Mamet a unos 120 mts s.n del río Segre, y a 420 mts s.n.m.

La orientación del yacimiento es N-S y sus coordenadas son: 0° 56' 31''E i 41° 54' 48''N. (Según mapa topográfico de Artesa de Segre n.º 328. I.G.M.E. 1959. E: 1:50.000. Servicio Geográfico del Ejército. Proyección U.T.M, según meridiano de Greenwich).

La Cova del Parco fue descubierta para la Prehistoria en 1974, al conocerse la existencia de la cavidad y la presencia de material arqueológico en la

1. Becario FPI. Dpto. Prehistòria, Ha. Antiga i Arqueologia (UB).

2. Catedrático de Prehistoria. Dpto. Prehistoria, Ha. Antiga i Arqueologia (UB).

3. Profesora titular Dpto. de Geoquímica, Petrologia i prospecció geològica. Fac. Geologia (UB).

misma por el Dr. Joan Maluquer de Motes (Maluquer de Motes, 1983-84; Fullola *et al.*, 1988).

El yacimiento de la Cova del Parco está constituido por una cueva y por un abrigo:

— La cueva constituye una galería única que adopta una planta alargada de 10,5 por 4,5 m.

— El abrigo adopta una planta rectangular de 5,5 por 11,5 m (Fullola y otros, 1992).

Los materiales objeto de estudio proceden del nivel II, datado radiocarbónicamente en el 10.390 ± 390 BP. Esta cronología corresponde culturalmente al Magdalenense Superior Final o Epimagdalenense (Bergadà, 1991; Bergadà y Courty, 1997; Fullola y Bergadà, 1990).

OBJETIVOS

Los objetivos por los cuales decidimos llevar a cabo este estudio fueron básicamente tres:

1. En primer lugar, queríamos documentar el máximo número posible de afloramientos de materia prima sílicea susceptibles de haber proporcionado sílex a los ocupantes del nivell II de la Cova del Parco. El conjunto de restos líticos recuperado, de aspectos muy distintos, nos hizo parecer interesante el estudio de las áreas de captación de los recursos, ya que nos podía aproximar tanto al conocimiento del medio físico, como del territorio en el cual estos grupos se movían.

2. En segundo lugar, nos habíamos propuesto llevar a cabo una caracterización de las muestras obtenidas siguiendo un proceso de análisis, que avanzara desde observaciones macroscópicas generales hasta observaciones al microscopio de láminas delgadas, que nos permitieran una mejor definición y caracterización tanto de las muestras geológicas de los afloramientos, como de las muestras arqueológicas analizadas. Este objetivo nos llevó a entrar en contacto con una disciplina «nueva», para nosotros, la petrología.

3. El objetivo final de todo este largo proceso de formación y estudio de materiales era poder aproximarnos al comportamiento económico de estos grupos de cazadores-recolectores. A su sistema de captación, y explotación de recursos líticos.

LAS PROSPECCIONES

Las tres campañas de prospección llevadas a cabo hasta este momento han permitido la localización de varios afloramientos de materias primas síliceas (Mapa 1).

Afloramientos en posición secundaria en los conglomerados Oligocenos:
VERTIENTE SUR DE SAN MAMET (1).

Afloramientos en posición primaria en las calizas o calcarenitas pertenecientes a la facies lacustre Garumniense.

FONTLLONGA (2).

CAMÍ DE PERALBA (3).

BLANCAFORT (4).

Afloramientos en posición primaria en las margas Sannoisienses en contacto con el Estampiense en la Depresión Terciaria del Ebro.

CASTELLÓ DE FARFANYA (5).

Afloramientos en posición secundaria entre las litologías de los depósitos Cuaternarios antiguos.

CASTELLÓ DE FARFANYA (6).

EL CONJUNTO ESTUDIADO

Fue de 18 láminas que se elaboraron a partir tanto de muestras procedentes de los afloramientos como de muestras del nivel arqueológico, en el «Servei de Làmina Prima» de la Facultad de Geología de la Universitat de Barcelona.

El criterio de selección de las muestras de los afloramientos se basó en las similitudes macroscópicas con los materiales del nivel arqueológico, que habíamos ya clasificado anteriormente con la ayuda de la lupa binocular. Las muestras del afloramiento de la Vertiente Sur de San Mamet (materiales en posición secundaria de los conglomerados Oligocenos) nos sirvieron para la contrastación de los sílex de colores claros del nivel arqueológico.

VSSM 5, 9, 10, 11, 14
--

En el caso de las láminas delgadas de sílex oscuros, las muestras se realizaron a partir de nódulos de diferentes afloramientos en posición primaria de las margas sannoisienses (Pont de Candanos, Castelló de Farfanya).

PC 12.

CDF 3.

El conjunto de muestras de materiales del nivell II de la cueva fueron seleccionadas siguiendo criterios precisos. Quedaron eliminados todos los retocados y se optó por incluir los soportes a seccionar en resinas sintéticas para asegurar al máximo la superficie a analizar.

Se estableció un conjunto de 9 láminas de material arqueológico, seis en sílex claros procedían de piezas clasificadas macroscópicamente como tipo TT y tres en sílex oscuros procedentes de dos piezas clasificadas macroscópicamente como T2, y una clasificada como del tipo T1.

Identificación de la lámina	Tipo de sílex
MALP 139	TT
MALP 312	TT
MALP 363	TT
MALP 393	TT
MALP 402	TT/TS
MALP 524	TT
MALP 19	T2
MALP 174	T2
MALP 199	T1

El escaso número de láminas sobre variedades oscuras de sílex se debe al menor número de restos, la mayoría de los cuales son útiles microlíticos (elementos de proyectil).

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES TT

Componentes silíceos: Se trata de muestras constituidas principalmente por mosaicos de microcuarzo, que sólo en dos muestras tienden a criptocuarzo, siendo a la vez los mosaicos de macrocuarzo meramente testimoniales, ya que aparecen como textura de segunda generación de cementación de porosidad.

Las variedades fibrosas del cuarzo aparecen en tres situaciones diferentes: Muestras donde sólo se constata calcedonia *length-fast* (MALP: 312, 363, 393, 524); y muestras donde sólo se constata calcedonia *length-slow* (MALP: 139 y VSSM 5), propia de reemplazamiento evaporítico. Coexistencia de las dos variedades de calcedonia, hecho generalmente poco común (VSSM 14, 11, 9 y MALP 402), (Bustillo, 1980).

Los componentes no silíceos han puesto de manifiesto la presencia de óxidos de hierro (hematites) bajo tipos de presentación distintos.

Plaquetas de hematites, tanto dispersas como en agrupaciones más o menos numerosas (MALP 524). Hematites de morfología fibrosa laminar, que podría vincularse, en su formación, con la presencia de minerales evaporíticos (MGLP VSSM 5). Y finalmente documentamos la presencia de cemento ferruginoso que ha permitido la conservación de lo que parece un tejido celular vegetal.

El carbonato cálcico de este conjunto de muestras es mayoritariamente anterior a la silicificación, como demuestran los numerosos contactos de tipo cóncavo/convexo observados (VSSM 10, 5), así como por las superficies de los cristales de carbonato desfigurados por la sílice (MALP 312).

Uno de los elementos destacados que hemos podido observar gracias a la petrografía han sido los pseudomorfos de cristales lenticulares de yeso prueba

inequívoca de un ambiente de formación evaporítico. En conclusión, ante el gran número de evidencias que muestran un ambiente de formación evaporítico (pseudomorfo de yeso, calcedonia *length-slow*, hematites fibrosas) creemos que los materiales arqueológicos del tipo TT presentan la misma génesis que las rocas silíceas recuperadas en el depósito de Vertiente Sur de San Mamet, y que a la vez, éstas pueden vincularse directamente con el ambiente de formación lacustre de las calizas con sílex del Garumniense.

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES T2-T1

La textura principal es el mosaico de microcuarzo/criptocuarzo es prácticamente imposible distinguirlos al microscopio.

El macrocuarzo, se limita a mosaicos isométricos dispuestos como segunda generación de cementación de la porosidad interna de elementos esqueléticos de los cuales sólo suelen conservarse las envueltas micríticas (MALP 199 y PC12).

Por lo que respecta al cuarzo fibroso sólo se ha documentado la presencia de calcedonia de elongación negativa (*length-fast*).

Los componentes no silíceos documentados corresponden a elementos esqueléticos constituidos por carbonato cálcico de tamaño micrítico, su estado de conservación es variable.

Por un lado, documentamos elementos totalmente silicificados, su proceso de silicificación muestra una evolución en etapas que presentan una primera generación de cuarzo fibroso, formando un mosaico de tipo rim, y una segunda generación de mosaico de macrocuarzo. Por otro lado, hemos documentado restos de esqueletos carbonatados en un estado de conservación óptimo que permiten su identificación, en este caso se trata de algas carófitas, propias de fuentes de aguas dulces.

Otro elemento común a estos materiales, son los terrígenos. Se trata de minúsculos granos de cuarzo de morfología redondeada que se reparten por toda la lámina, su aspecto nos muestra que fueron aportados a la cuenca de sedimentación, y que no son fruto del proceso diagenético de silicificación.

CONCLUSIONES

El trabajo desarrollado hasta el momento, sobre los materiales silíceos de la Cova del Parco, nos ha permitido por un lado mejorar nuestros conocimientos sobre los afloramientos geológicos de sílex de la zona; al mismo tiempo que hemos llevado a cabo su caracterización macroscópica y microscópica. Por otro lado, este hecho nos ha permitido evidenciar un comportamiento diferencial, en función del tipo de sílex, por lo que se refiere a la captación, explotación y uso de los distintos elementos líticos recuperados (Albert y otros, 1997; Calvo, 1997; Mangado, 1997). Así, los sílex de formación garumniense (tipo TT), han sido los más explotados; sin embargo, la mayoría de útiles confeccio-

nados sobre este tipo de sílex corresponden a utillaje de base (buriles, raspadores, raederas...), siendo escasos los elementos de proyectil, o dorso rebajado, confeccionados en sílex de esta variedad. En cambio, los sílex sannoisienses de la Depresión del Ebro (T1 y T2), que distan más de 25 km en línea recta del yacimiento, fueron el soporte para la realización de numerosísimos elementos de proyectil. Creemos que este hecho evidencia los desplazamientos de este grupo del Magdaleniense Superior Final, como mínimo entre la zona de la Depresión del Ebro, donde seguramente debería hallarse el campamento base, y la zona del Pre-Pirineo leridano, a donde grupos de cazadores se desplazarían para la realización de actividades cinegéticas específicas.

BIBLIOGRAFÍA

ALBERT, R. M.; CALVO, M. y MANGADO, X.

(1997) Raw material supplies, microusewear and phytolith analysis of the lithic industry in level II of Cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera, Spain), en *Man and Flint*, 7th International Flint Symposium, ed. Institut of Archaeology and Ethnology, Polish Academy of Sciences, 161-166, 4 fig., 3 tablas, Varsovia.

BERGADA, M. M.

(1991) Aproximació a l'estudi sedimentològic-paleoclimàtic d'un assentament prehistòric: la cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera), en *Cypselà*, 9, 33-48, Girona.

BERGADA, M. M. y COURTY, M. A.

(1997) Reconstrucción paleoambiental de la secuencia del Pleistoceno superior final de la cueva del Parco (Alòs de Balaguer, Lleida, España) en base al estudio micromorfológico, en *El món mediterrani després del Pleniglacial (18.000-12.000 BP)*, en FULLOLA, J. M. y SOLER, N. eds., serie monogràfica 17 del C. Inv. Arq. de Girona, 225-261, 6 fig., Girona.

BUSTILLO, M. A.

(1980) Diagénesis de sílex. *Revista del Instituto de Investigaciones Geológicas*, 34. Diputación Provincial y Universidad de Barcelona. Barcelona, 237-248.

CALVO, M.

(1997) Análisis funcional y actividades documentales en el nivel II de la cueva del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera), en *Pyrenae*, 28, 9-23, 6 gráf., 4 fotograf., Barcelona.

FULLOLA, J. M^a y BERGADÀ, M^a M.

(1990) Estudi d'una estructura de combustió i revisió dels nivells paleolítics de la cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera, Lleida), *Arxiu de Prehistòria Llevantina* XX, vol. homenaje a Enrique Pla, ed. S.I.P., 109-132, 8 fig., 2 gráf. 13 notas, Valencia.

FULLOLA, J. M^a; BERGADÀ, M^a M. i BARTROLÍ, R.

(1992) *La Cova del Parco (Alòs de Balaguer, Lleida): Memòria d'excavació de les campanyes de 1990 i 1991*. Barcelona. 134 p. 40 figs.

FULLOLA, J. M^a; G.^a-ARGÜELLES, P. y MILLÁN, M.

(1988) Noves aportacions al coneixement de la cova del Parco, Alòs de Balaguer, La Noguera, Lleida, *Prehistòria i Arqueologia de la conca del Segre*, actes del 7è Col. Internac. de Puigcerdà 1987, homenaje al Dr. Maluquer de Motes, 29-33, Puigcerdà.

MALUQUER DE MOTES, J.

(1983-84) Un jaciment paleolític a la comarca de La Noguera, en *Pyrenae*, 19-20, 215-233, Barcelona.

MANGADO, X.

(1997) *Estudi arqueopetroològic del nivell II de la Cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera, Lleida)*. Tesis de licenciatura inédita. Fac. G^a e H^a. Universitat de Barcelona.

TRANSPORTE DE ALIMENTOS Y ÁNFORAS ROMANAS. LA PEZ Y SUS COMPONENTES A TRAVÉS DE ANÁLISIS ORGÁNICOS

por

M.^a Dolores PETIT DOMÍNGUEZ¹ y Julio MARTÍNEZ MAGANTO²

INTRODUCCIÓN

En estos últimos años, hemos asistido a un evidente incremento de todos los estudios relacionados con el mundo de las ánforas, contenedores especialmente diseñados para el transporte marítimo de alimentos. Nadie duda de la idoneidad de estos objetos para ampliar nuestros conocimientos sobre diversos aspectos —económicos, comerciales, sociales— del comercio marítimo en la Antigüedad. Si, tradicionalmente, ha existido un mayor interés por su morfología y filiación cultural, en estos últimos años la aportación técnica e instrumental de otras disciplinas científicas ha ampliado las expectativas de su estudio, a la vez que posibilita el acceso a una información histórica más precisa y contrastada.

Una de las principales líneas de investigación de este campo de la Arqueología, estriba en determinar la naturaleza y componentes de las sustancias que eran transportadas. Se trata, mayoritariamente, de alimentos de densidad líquida o semilíquida, que eran introducidos en las ánforas, después de que éstas hubieran sido adecuadamente impermeabilizadas mediante un baño de pez líquida aplicada en las paredes internas del recipiente (Martínez Maganto y Arnaiz Revilla, 1991; Martínez Maganto y García Giménez, 1994; Martínez Maganto y Petit Domínguez, 1997, e.p.; Dorrego, Carrera y Luxan, e.p., trabajos con abundante bibliografía anterior al respecto).

Numerosos estudios, algunos de relativa antigüedad (Formenti, Hesnard y Tchernia, 1978; Celades, Pascual y Villate, 1983; Formenti, 1991), avalan la posibilidad de que ciertos vestigios de estos alimentos, ya desaparecidos, sean

1. Dpto. de Química Analítica y Análisis Instrumental. Facultad de Ciencias. Univ. Autónoma de Madrid.

2. Dpto. de Prehistoria y Arqueología. Facultad de Filosofía y Letras. Univ. Autónoma de Madrid.

susceptibles de rastreo químico, al haber quedado «integrados» en la propia pez utilizada como impermeabilizante. Por ello, hemos planteado un trabajo consistente en analizar, mediante diferentes técnicas, muestras de pez obtenidas de la pared de ánforas salarias de cronología altoimperial romana. El principal objetivo perseguido es determinar la naturaleza del alimento transportado —supuestamente salsas derivadas del procesamiento y salazón de pescado—, buscando posibles evidencias de proteínas que ratifiquen dicha naturaleza. A su vez, pretendemos poner de relieve el origen de la pez utilizada en la impermeabilización de los contenedores cerámicos, sobre la que se ha especulado largamente.

LAS TÉCNICAS ANALÍTICAS: LA CROMATOGRAFÍA DE GASES

Para la realización de los análisis se ha empleado el sistema de cromatografía en fase gaseosa o **cromatografía de gases (C.G.)**, habitualmente empleado en análisis de análogas características (Formenti, 1991 y 1993; Martínez Maganto y Petit, 1997, e.p., con bibliografía anterior; Willard, Merritt y Dean, 1971, 615 y ss.; Shackley, 1982; Mills y White, 1977 y 1987, 13 y ss.), método que se ve completado por el acoplamiento de un detector, fundamentado en la espectrometría de masas.

Las muestras sólidas de pez, obtenidas mediante tracción manual, son introducidas en cloroformo hasta su total *disolución*, proceso que no presenta excesivas dificultades dada la naturaleza orgánica de las muestras. Posteriormente, se procede a detectar los ácidos presentes, formando los metil-derivados de los mismos mediante la utilización de metilcloroformato ($\text{Cl CO}_2 \text{CH}_3$), fase que denominamos *derivatización*.

La muestra es, a continuación, inyectada en el cromatógrafo de gases —en nuestro caso un HEWLET-PACKARD, 5890 (Serie II)— empleando el helio como gas portador, hasta llegar a una columna capilar de sílice fundida, que presenta una retención distinta para cada componente de la muestra, lo que produce un retardo en la elución de cada uno de ellos y, por tanto, una separación de los mismos. En definitiva, se produce una evaporación de la sustancia obtenida mediante la aplicación de alta temperatura. Como suele ser habitual, el proceso queda completado mediante un espectrómetro de masas acoplado al cromatógrafo de gases, que realiza la función de detección. De este modo, se obtiene el registro gráfico o *Cromatograma de Iones Totales*, (p.ej., Fig. 1) a partir del cual podemos analizar e identificar cada compuesto registrado en forma de «pico», mediante el espectro de masas (Fig. 3).

Las condiciones cromatográficas, bajo las que se han desarrollado estas operaciones, son:

- *Columna capilar* de sílice fundida 5% fenil metil silicona de fase ligada, con una longitud de 25 metros, un diámetro interno de partícula de 0.28 mm y un espesor de película de 0.25 μm .

- *Programación de temperaturas* del horno: 70 °C (1 minuto), 20 °C/minuto 210 °C (20 minutos). *Temperatura del inyector*: 180 °C
- *Temperatura del detector*: 280 °C.
- *Gas portador*: Helio, 1.0. ml/m.
- *Inyección*: Splitless, 1µl.

Para el estudio analítico de las muestras obtenidas mediante C.G., partimos de la observación de la propia muestra de pez, cuyo grado de conservación es notablemente diferente en cada caso, observándose una alteración, que parece potenciarse en presencia de aire y la luz (Shackley, 1982, 305). La experiencia permite afirmar que la mayoría de restos conservados en el material anfórico presenta un carácter cristalino, no plástico, ni adherente, quizá probable consecuencia de la pirolización a que es sometido el producto durante su aplicación (Martínez Maganto y Arnaiz Revilla, 1991). Si la alteración es importante, pasan a tener un aspecto granuloso o polvorizado.

Las muestras seleccionadas y los resultados obtenidos del análisis son los siguientes (un reciente estudio sobre una muestra de idéntica naturaleza y su interpretación se encuentra en Martínez Maganto y Petit, 1997, e.p.):

Muestra n.º 1

Muestra procedente de un ánfora fragmentada de tipo Beltrán, IV (seguramente subtipo B) conservada en el Museo de Almería, con N.º de Inventario 15882 (Martínez Maganto, 1993). La muestra fue obtenida de la parte baja del pivote, cercana a su línea de fractura, lugar donde la película de pez es brillante y negra, en aparente buen estado. A pesar de la procedencia submarina no existen restos visibles de desgaste o de moluscos marinos. La muestra fue machacada en mortero de ágata, disuelta en cloroformo y derivatizada, como ya ha sido explicado, procedimiento común para todas las muestras.

Los compuestos detectados se enumeran según el siguiente esquema: el primer número de orden se refiere a cada «pico» digno de mención en el cromatograma; los números situados a continuación indican el tiempo de salida; seguidamente se identifica el elemento aislado; su fórmula empírica (entre corchetes); finalmente, en tantos por ciento, figura el grado de similitud que existe entre la muestra analizada y el patrón que para dicho producto se encuentra contenido en la base de datos del ordenador (sólo datos superiores al 80% permiten admitir tal identificación). Para la muestra n.º 1, los componentes detectados son:

- 1.— 11,77 Naphtalene 1,2,3,4 tetrahydro-1,1,6-trimethyl [C₁₃ H₁₈] 60%
- 2.— 12,49 Phenanthrene, 2,5-Dimethyl [C₁₆ H₁₄] 96%
- 3.— 13,05 10-Methoxybenzen [a] azulene-1,4-diene [C₁₅ H₁₀ O₃] 72%
- 4.— 14,84 (E,E)-2,5-Diphenyl-2,4-hexadiene [C₁₈ H₁₈] 86%
- 5.— 17,24 Methyl abietate [C₂₁ H₃₀ O₂] 94%
- 6.— 19,79 Abietic Acid [C₂₀ H₃₀ O₂] 99%

Muestra n.º 2

Muestra de pez perteneciente a un ánfora de tipo Beltrán II A, del Museo de Almería, con N.º de Inventario 80601 (Martínez Maganto, 1993). La muestra fue tomada en la pared interna del recipiente, en el lugar donde la película de pez presentaba mejores condiciones de conservación y un adecuado espesor. Los compuestos detectados son (Fig. 1):

- 1.— 12,12 Naphtalene 1,2,3,4 tetrahydro-1, 1, 6-trimethyl [C₁₃ H₁₈] 22%
- 2.— 12,23 4-(1,2-Dimethylpropylamino) Dyphenylamine [C₁₇ H₂₂ N₂] 56%
- 3.— 12,37 4-Phenyl 2,6-Dimethylnitrobenzene [C₁₄ H₁₃ NO₂] 43%
- 4.— 17,15 1-Phenanthrenecarboxilic acid 1,2,3,4,4a,9,10,10a octahydro-1, 4a dimethyl 1,7 (1-methylethyl), methyl ester (Methyl abietate) [C₂₁ H₃₀ O₂] 95% (Fig. 3)
- 5.— 21,04 Cyclohexene 4-methyl-1- (1-methylethenyl) [C₁₀ H₁₆] 53%.

Muestra n.º 3

Resina solidificada de pino, de tonalidad marrón clara, obtenida directamente del árbol, poniendo especial atención en aislarla de todo contaminante externo (polvo, partículas vegetales o animales, etc...). Durante la disolución se observa el mismo tono marrón en su fase sólida. Los compuestos detectados son:

- 1.— 7,68 Junipene [C₁₅ H₂₄] 97%
- 2.— 11,48 3 Phenoxybenzyl acetate [C₁₅ H₁₄ O₃] 64%
- 3.— 12,19 3H Phenothiazinone [C₁₂ H₇ N O S] 59%
- 4.— 17,21 1,4 Cyclohexadiene 3,3,6,6, tetramethyl o terpinene [C₁₀ H₁₆] 46%
- 5.— 19,91 Abietic Acid [C₂₀ H₃₀ O₂] 99%.

Muestra n.º 4

Pez procedente de un ánfora de tipo Beltrán II A, conservada en el Museo de Almería, con N.º de Inventario 52495. Esta pieza cerámica presenta un epígrafe en tinta negra, anunciando un contenido (*Cordyla*) de salazón de pescado (Martínez Maganto, 1993, II, 410). Una vez aplicado el procedimiento habitual, se detectan los siguientes componentes:

- 1.— 11,78 Naphtalene 1,2,3,4 tetrahydro-1,1,6-trimethyl [C₁₃ H₁₈] 55%
- 2.— 12,16 1-H-Indole, 2, 3, 5-trimethyl [C₁₁ H₁₃ N] 43 %
- 3.— 12,49 Phenanthrene, 3, 6-dimethyl [C₁₆ H₁₄] 96%
- 4.— 13,05 10-Methoxybenz [a] azulene-1,4-diene [C₁₅ H₁₀ O₃] 78%
- 5.— 14,83 (E,E) 2,5-diphenyl-2,4,-hexadiene [C₁₈ H₁₈] 86 %
- 6.— 15,54 4 H-Naphto (1,2-b) pyram-4-one, 5-6 dimethoxy-2-methyl [C₁₆ H₁₄ O₄] 58%
- 7.— 17,30 Methyl-abietate. [C₂₁ H₃₀ O₂] 94%

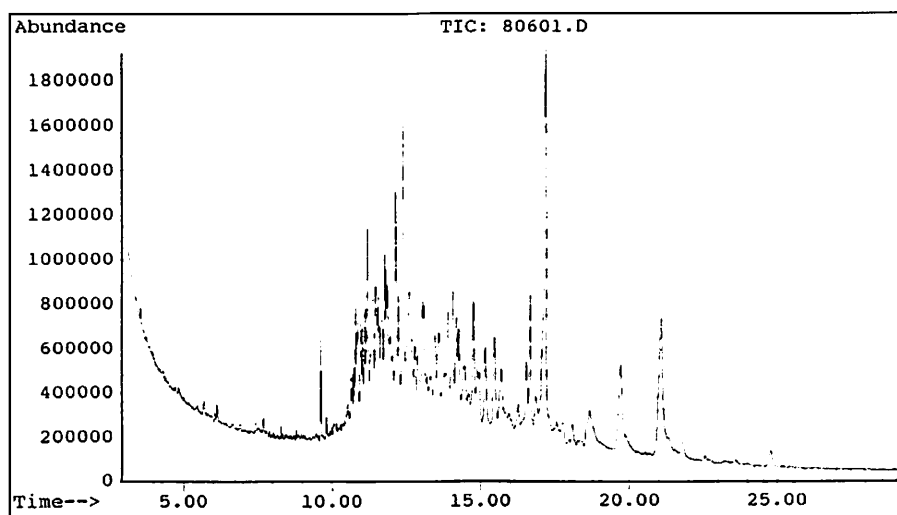


Fig. 1

En cuanto a los **resultados generales** derivados del estudio de estas muestras, mediante C.G., destacamos la identificación de una mayoría de compuestos de origen vegetal, que suelen estar presentes en aceites y esencias vegetales. Muchos de ellos, especialmente el ácido abiético, Junipene, Naphtaleno, Phenanthreno, etc., pueden relacionarse con resinas de pináceas (pino piñonero, pino marítimo...) aunque también otros árboles del género *Juniperus* (sabinas, enebros...) generadores de resinas. De hecho, la presencia de ácido abiético es constante (Figs. 2 y 3). Estas evidencias no resultan del todo nuevas, ya que vienen a corroborar, como en alguna ocasión hemos defendido (Martínez Maganto y Petit Domínguez, 1997, e.p.), que la sustancia analizada es pez de origen vegetal, obtenida muy probablemente mediante calentamiento de la resina madre para eliminar los aceites volátiles existentes. Posteriormente, el producto destilado, pasa a ser utilizado en estado semilíquido, bien de forma directa o bien mezclado con otros elementos (aceites, cal...). En este sentido, la presencia de ácidos grasos —aceites y similares— en la mezcla resínica original, ha sido puesta de relieve en otros estudios (Dorrego, Carrea y Luxán, e.p.), si bien nuestros análisis no han podido confirmar tal extremo, muy probablemente como consecuencia del diferente método analítico empleado. En cualquier caso, nos encontramos ante un procedimiento de gran antigüedad (André, 1964) destinado a la obtención de pez (*pix liquida*), a partir de la resina madre original (*flos crudus resinae*), para utilizarla en el enlucido de recipientes, tal y como recogen diversos tratadistas clásicos (Plinio, Columella, Scribonio, etc.).

METIL-ÉSTER DEL ÁCIDO ABIÉTICO

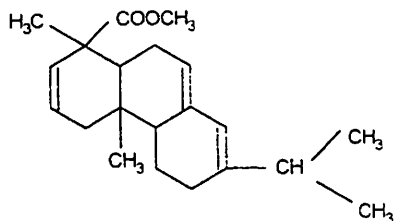


Fig. 2

LAS TÉCNICAS ANALÍTICAS: LA CROMATOGRAFÍA EN CAPA FINA (C.C.F.)

Otro de los objetivos propuestos, consistía en definir el producto contenido en las ánforas, deducción que pretende realizarse a partir de los posibles restos integrados en la propia pez de impermeabilización anfórica.

Para ello, se ha realizado una C.C.F. (Sawyer *et alii*, 1984, 387), técnica consistente en disolver la muestra de pez en cloroformo, para pasar al estado líquido. Con una pequeña muestra de esta disolución y mediante un capilar, se deposita una cantidad conocida (1 μ l), sobre una capa de gel de sílice de 0'25 mm de espesor, soportada por una placa de aluminio. Esta placa, con las muestras convenientemente numeradas, se introducen en un disolvente, que al ascender, por capilaridad, por la placa, arrastra los distintos componentes, quedando depositados según la mayor o menor afinidad con el disolvente. Una vez completado el proceso, se procede a revelar la placa utilizando para ello Ninhidrina, sustancia que, en caso de presencia de proteínas, reacciona dejando una mancha de tonalidad rosácea, lo que denunciaría el contenido del ánfora como de origen animal. Este sistema, útil para reconocer aminoácidos, recibe, asimismo, el nombre de la sustancia reveladora: Test de Ninhidrina (Formenti, 1993, 251).

Para mayor seguridad fueron utilizados dos diferentes disolventes: el «A», una mezcla de n-butanol, ácido acético y agua, en proporciones 4:1:1; y el disolvente «B», mezcla de n-propanol y agua en proporción 7:3. La inocuidad de estos disolventes y su idoneidad para la detección de proteínas fue comprobada previamente con tres aminoácidos conocidos, la Alanina, la Fenilalanina y la Valina, utilizados como patrón. El resultado de esta prueba fue, obviamente, positivo para ambos disolventes, apreciándose unas manchas lineales claramente rosáceas.

Las muestras analizadas mediante este procedimiento son las siguientes:

- **Muestra 1:** pez de ánfora salaria Beltrán II A. Museo de Almería (N.º Inv. 80601).

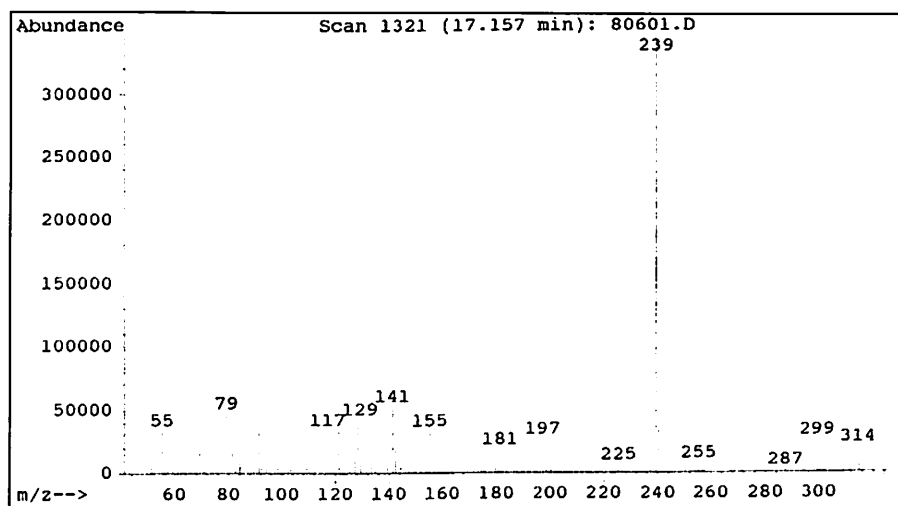


Fig. 3

- **Muestra 2:** pez de ánfora salaria Beltrán II A. Museo de Almería (N.º Inv. 52495).
- **Muestra 3:** pez de un fondo de ánfora vinaria Dressel 6. Museo de Ceuta (sin N.º Inv.).
- **Muestra 4:** pez de un fondo de ánfora vinaria Dressel 1. Museo de Cádiz (sin N.º Inv.).
- **Muestra 5:** pez de un fondo de ánfora vinaria Pascual 1. Bolonia (Cádiz).
- **Muestra 6:** resina solidificada de pino.

Como puede observarse, las muestras 1 y 2 coinciden con las que hemos utilizado en el análisis mediante C.G. (en concreto las muestras 2 y 4 respectivamente); asimismo, también se ha utilizado para este análisis un fragmento, la muestra 6, de la misma resina de pino analizada mediante C.G. (corresponde a la Muestra 3). Finalmente, se han introducido tres nuevas muestras de pez, procedentes de ánforas vinarias (N.ºs 3, 4 y 5), que al estar destinadas al transporte de vino, no podían contener proteínas animales, lo que permitiría ciertas comparaciones y serviría para contrastar la prueba.

Los **resultados generales** de la prueba mediante C.C.F. no pueden ser más desalentadores. Ninguna de las muestras ha evidenciado la presencia de proteínas, ni siquiera la procedente del ánfora 52495 que, recordemos, presentaba un *titulus pictus* denunciando un contenido de pescado en salazón. Además, todas las muestras se comportaron de forma idéntica a la muestra de resina de pino, lo que nos lleva a admitir que, por el momento, no es posible detectar la presencia de restos de contenidos de alimentos «integrados» en la

pez, comprobándose tan sólo la existencia de componentes de la propia pez, lo que viene a corroborar los resultados obtenidos mediante la C.G.

Sin embargo, esperamos obtener distintos resultados en futuras pruebas, ya que un ensayo realizado a partir de una muestra idéntica, en colaboración con el CNRS de París (Pfra. F. Laubenheimer) y los laboratorios del ICPI de Lyon (Pfra. F. Formenti), con los que efectuamos trabajos en paralelo (Laubenheimer, Martínez Maganto e Hillairet, 1993; Formenti, 1993), ha obtenido resultados netamente positivos. Muy probablemente, la utilización de distintos disolventes, o diferente instrumentación, puede ser la clave de futuros trabajos. Si bien no pueden descartarse otros condicionantes, como el lugar de conservación de la muestra (terrestre, acuático, grado de acidez, etc.), que incide en su particular estado de alteración.

CONCLUSIONES

Las conclusiones derivadas del estudio de todas estas muestras, que bien pudieran parecer cuantitativamente insuficientes, tienen su correlato en otros múltiples análisis que hemos efectuado en los laboratorios del Dpto. de Química Analítica de la U.A.M., en los que se confirman todos estos resultados. Por obvias razones de extensión, necesariamente limitada en estos encuentros, no ha sido posible incluirlos en estas páginas (Martínez Maganto y García Giménez, 1994; Martínez, García y Petit, 1994; Martínez Maganto y Petit, 1997, e.p.).

Así pues, a modo de balance final, podemos establecer las siguientes premisas:

- Las muestras presentan, en su propia naturaleza sólida, una fuerte contaminación de componentes, que puede apreciarse en los numerosos picos que revela la cromatografía de gases (Figura 1).
- Asimismo, el grado de conservación de las muestras es muy diferente, apreciándose alteraciones, en la textura y color de las mismas, sin que, por el momento, sea posible definir hasta qué punto estas condiciones afectan a los resultados analíticos finales.
- Las pruebas efectuadas permiten afirmar que todas las muestras se comportan de modo muy similar al de la resina de pino sólida, lo que avala la presencia de componentes vegetales de origen resínico en tales muestras.
- A su vez, como antítesis de lo anterior, no es posible, por el momento, admitir la existencia de restos del producto transportado «integrados» en la propia pez, a pesar del contacto físico entre ambos y del dilatado período de tiempo en que ha operado este proceso. Al menos, esta afirmación es válida para la presencia de restos orgánicos de origen animal, dado el resultado negativo de las C.C.F. ensayadas.
- El ambiente en que se han conservado las ánforas, parece ser netamente reductor, a juzgar por la ausencia de componentes propios de procesos

de oxidación en las muestras analizadas y, por contra, la presencia de otros asociados a ambientes reductores, como el dimetil fenantreno.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRE, J.
(1964) La résine et la poix dans l'antiquité. *Antiquité Classique*, 3, 86-95, Bruxelles.
- CELADES, R.; PASCUAL, R. y VILLATE, E.
(1983) Estudio analítico de los revestimientos orgánicos aparecidos en el interior de las ánforas, *Informació Arqueològica*, 41, 169-178, Barcelona.
- DORREGO, F., CARRERA, F. y LUXAN, P.
(e.p.) *Nuevos estudios sobre sistemas de impermeabilización de ánforas romanas*. (Trabajo inédito, en prensa) [Agradecemos a los autores la lectura del texto original].
- FORMENTI, F. S.
(1991) Recherche de résine dans les amphores. [Annexe II de Laubenheimer, 1991] *Gallia*, 48, 260. Paris.
(1993) Des protéines dans une amphore de type Pompéi VII [Anexo a Laubenheimer, Martínez Maganto e Hillairet (1993)], *Aquitania*, 11, 251-253. Bordeaux.
- FORMENTI, F. S.; HESNARD, A y TCHERNIA, A.
(1978) Une amphore «Lamboglia 2» contenant du vin dans l'épave de la Nadrague de Giens, *Archaeonautica*, 2, 95-100. Paris.
- FORMENTI, F. S. y JONCHERAY, J.-P.
(1995) Recherche d'acide tartrique sur une amphore de type Keay XXV provenant de l'épave Héliopolis 1 à Hyères, île du Levant. Anexo II a BEN LAZREG, N. *et alii* (1995) Production et commercialisation des *salsamenta* de l'Afrique ancienne. *VII Cong. Int. «L'Afrique du Nord antique et médiévale»*. 103-142.
- LAUBENHEIMER, F.
(1991): Les vides sanitaires et les amphores de la Porte d'Orée à Fréjus (Var). *Gallia*, 48; 229-265. Paris.
- LAUBENHEIMER, F.; MARTÍNEZ MAGANTO, J. e HILLAIRET, J.-L.
(1993) Inscription sur une amphore à thon de Bétique, Saintes, Charente-Maritime. *Aquitania*, 11. 243-254. Bordeaux.
- MARTÍNEZ MAGANTO, J.
(1993) *El yacimiento submarino de «Pecio Gandolfo»*. *Producción y comercialización naval de salazones béticas en época altoimperial romana*. (II Vol.), Memoria de Licenciatura inédita (U.A.M.), Madrid.
- MARTÍNEZ MAGANTO, J. y ARNAIZ REVILLA, E.
(1991) El ánfora. Envase comercial por excelencia en el mundo romano. *Revista de Arqueología*, 124, 26-36, Madrid.

- MARTÍNEZ MAGANTO, J. y GARCÍA GIMÉNEZ, R.
(1994) Ánforas romanas altoimperiales de salazón. Análítica aplicada y aportaciones arqueológicas, *1.º Congreso de Arqueología Peninsular. (Oporto, Octubre de 1993)*. Porto.
- MARTÍNEZ MAGANTO, J.; GARCÍA GIMÉNEZ, R. y PETIT DOMÍNGUEZ, D.
(1994) *Geoquímica y Arqueología. Investigación sobre el material anfórico almeriense: Ánforas altoimperiales de salazón*. (Memoria de Investigación inédita). Instituto de Estudios Almerienses. Almería.
- MARTÍNEZ MAGANTO, J. y PETIT DOMÍNGUEZ, D.
(1997) La pez y la impermeabilización de envases anfóricos romanos. Estudio analítico de una muestra e interpretaciones histórico-económicas. *Archivo Español de Arqueología*. Madrid. (En prensa).
- MELLO, E. y PIZZIGONI, G.
(1990) Resine, peci, bitumi. En BERTI, F.: *Fortuna Maris. La nave romana di Comacchio*, 161-162. Bologna.
- MILLS, J. S. y WHITE, R.
(1977) Natural resins of Art and Archaeology. Their sources, chemistry and identification, *Studies in conservation*, 22-1, 12-31. London.
- MILLS, J. S. y WHITE, R.
(1987) *The Organic Chemistry of Museum Objects*. London.
- SAWYER, D. T. *et alii*
(1984) *Chemistry experiments for instrumental methods*. Canada.
- SHACKLEY, M.
(1982) Gas chromatographic identification of a resinous deposit from a 6th Century storage jar and its possible identification. *Journal Archaeol. Science*, 9, 305-306, London.
- WILLARD, H. H.; MERRITT, L. L. y DEAN, J. A.
(1971) *Cromatografía de Gas. Métodos instrumentales de análisis*. Madrid.

IDENTIFICACIÓN DE GRASAS Y ÉSTERES DE CERAS EN RECIPIENTES ARQUEOLÓGICOS

por

María Luisa CAÑABATE GUERRERO y Alberto SÁNCHEZ VIZCAÍNO¹

RESUMEN

Este trabajo muestra los resultados obtenidos en el análisis de recipientes cerámicos procedentes de tres asentamientos situados en la provincia de Jaén: el asentamiento Polideportivo de Martos (Neolítico Final-Cobre Antiguo), la parcela E 2.1 (U.A. 23) del asentamiento de Marroquíes Bajos (Cobre Final-Bronce), y el solar situado en las calles Remojadero de Pescado y Huérfanos (Bronce Final).

Las muestras fueron analizadas mediante Cromatografía de Gases y Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas. Los resultados obtenidos han permitido identificar en los recipientes procedentes de la estructura 19 del asentamiento Polideportivo de Martos la presencia de ácidos grasos, colesterol, sitosterol y acilglicerol característicos de grasas animales y vegetales. Por su parte, en los otros dos asentamientos se logró identificar la presencia de indicadores característicos de la cera de abeja entre los que destacan los ésteres de ceras.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos en el análisis de indicadores de contenidos en diferentes recipientes cerámicos procedentes de diversos yacimientos de la provincia de Jaén: asentamiento Neolítico Final-Cobre Antiguo Polideportivo de Martos, asentamiento del Cobre Final-Bronce de Marroquíes Bajos (parcela E 2.1) en la ciudad de Jaén, y el yacimiento situado en el solar de las calles Remojadero de Pescado y Huérfanos, localizado también

1. Departamento de Territorio y Patrimonio Histórico. Área de Prehistoria. Grupo de Investigación del Patrimonio Arqueológico de Jaén. Universidad de Jaén.

en el casco urbano de Jaén, y que presentaba una fase perteneciente al Bronce Final.

El asentamiento Polideportivo de Martos está compuesto por un conjunto de estructuras circulares de sección acampanada excavadas en la roca (Lizcano, 1996). Fue objeto de dos intervenciones arqueológicas de urgencia en los años 1991 y 1993 en el curso de las cuales se llevaron a cabo otra serie de análisis químicos sobre los sedimentos (Sánchez *et al.*, 1996). En la última intervención fue excavada la estructura 19 a la cual pertenecen los recipientes analizados. Dicha estructura presentaba en el momento principal de ocupación un gran hogar rodeado parcialmente por un banco encima del cual se depositaron los recipientes arqueológicos. Dado el buen estado general de conservación de la estructura y de los materiales arqueológicos, se decidió analizar la mayoría de los recipientes cerámicos para determinar su contenido, ponerlo en relación con el resto de los datos arqueológicos y determinar el tipo de área de actividad excavada.

La parcela E 2.1 (U.A. 23) del asentamiento de Marroquíes Bajos fue objeto de excavación en 1996, y en ella se documentó una estructura compuesta por diversas áreas de actividad entre las que destacaban una área de telar y un área dedicada a funciones de elaboración y preparación de alimentos. Esta última presentaba un gran hogar con diversas remodelaciones superpuestas y junto al cual se recuperaron una enorme cantidad de recipientes cerámicos. De este gran conjunto se seleccionaron 25 recipientes de diverso tipo (cuencos, platos, ollas y formas sin determinar) para su análisis.

El yacimiento situado en las calles Remojadero de Pescado y Huérfanos fue excavado en 1996 y en él se documentaron tres fases de ocupación: Bronce Final (siglos IX-VIII a. C.), Ibérico Tardío (siglos II y I a. C.) y época Moderna/Contemporánea (siglos XVIII y XIX). De las tres fases se seleccionó la primera para el análisis de los contenidos en un total de 7 recipientes pertenecientes a una estructura excavada en la roca, con una potencia de 1.20/1.40 metros y una superficie de aproximadamente 2 metros cuadrados y forma ovalada. Al no haberse podido excavar de forma completa, la interpretación funcional es bastante complicada, y hasta el momento sólo se han planteado hipótesis referidas bien a un carácter funerario, bien a un significado votivo (Bellón *et al.*, 1996).

METODOLOGÍA ANALÍTICA

La metodología analítica empleada (Evershed, 1990) comienza tomando un trozo del fragmento, limpiando la tierra adherida a él y pulverizándolo en un mortero. La muestra es entonces almacenada a -40°C , hasta el momento de su análisis, habiendo sido éste llevado a cabo en el Departamento de Gequímica Orgánica de la Universidad de Bristol.

El paso siguiente a la toma de muestra consiste en la extracción de los posibles indicadores. Para ello primero se añade a la muestra ya pulverizada 20 μl de *standard* interno (n-tetratriacontano, en una concentración de 1mg

ml⁻¹). A continuación se añade la mezcla extractante (cloroformo:metanol; 2:1, 10 ml) y se realizan dos extracciones de 15 min en un baño de ultrasonidos. La mezcla extraída se centrifuga (3500 rpm durante aproximadamente 15 min) y el líquido sobrenadante se transfiere a un pequeño vial y se evapora el disolvente en corriente de nitrógeno. El extracto lipídico total se disuelve de nuevo en 500 µl de la disolución de cloroformo:metanol y se toma una alícuota de 100 µl para proceder al análisis.

El extracto lipídico se derivatiza por tratamiento de la alícuota (20 µl; a 60 °C; durante 20 min) con N,O-bis(trimetilsilil)trifluoroacetamida (BSTFA) que contiene 1% v/v de trimetilclorosilano. La muestra ya derivatizada se diluye con ciclohexano y se analiza por Cromatografía de Gases y Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas.

Para la Cromatografía de Gases se emplea un cromatógrafo Hewlett-Packard 5890A, empleando un inyector on-column. La columna empleada es de alta temperatura BP-1 de 15 m × 0.2 mm. El programa de temperatura empleado comienza a 50 °C durante 2 min y alcanza los 350 °C a razón de 10 °C/min, manteniéndose al final el horno a 350 °C durante 10 min. Para la Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas, se utiliza un cromatógrafo Carlo Erba 5160 Mega Series con un inyector on-column unido a un espectrómetro de masas Finnigan 4500.

RESULTADOS

En el caso del asentamiento Polideportivo de Martos, de los 7 recipientes a los que corresponden los 12 fragmentos estudiados pertenecientes al principal momento de ocupación, sólo 4 presentan en el cromatograma picos correspondientes a compuestos lipídicos. De estos 4 se mostrarán los resultados más claros obtenidos en los recipientes 1, 6 y 7. Además, se detectaron también indicadores de contenido en una fuente carenada aunque en este caso se trataba de un recipiente que había sido adscrito al momento inicial de ocupación previo a la construcción del hogar.

Los resultados obtenidos en el recipiente n.º 1, una olla carenada, indican la presencia de una grasa de origen animal en su interior. Asimismo, aparecen picos correspondientes a cetonas de cadena larga (K31, K33 y K35), que deben interpretarse con cuidado, ya que esas cetonas pueden derivar de las ceras de hojas de plantas superiores, o ser resultado de la condensación de los ácidos grasos de las grasas absorbidas por la pared de los recipientes durante su uso a altas temperaturas (Evershed *et al.*, 1995). Esta última hipótesis parece más probable, ya que junto al colesterol se identificaron di y tri-acilglicerolos (D32, D34, D36, y T48, T50, T52, T54) que confirman que el contenido original del recipiente debió ser una grasa animal (Figura 1A).

El recipiente n.º 6 es un recipiente de forma no determinada. Presentaba un recubrimiento negro en su interior, cuyo extracto lipídico analizado se corresponde con una grasa de tipo animal, dada la presencia de colesterol y de

los triacilglicerolés típicos de este tipo de grasas (T48, T50, T52, T54) (Figura 1B).

En el recipiente n.º 7, una cazuela de inflexión marcada, puede comprobarse que la tendencia ha variado, siendo en este caso mayoritarios los picos correspondientes a los ácidos grasos libres (C16:0, C18:1 y C18:0), pero igualmente, la detección de colesterol revela la presencia de una grasa animal, que posiblemente se encuentre más degradada.

Por tanto, y en función de todo lo visto anteriormente, puede confirmarse el carácter doméstico de la citada estructura con una probable especialización en la preparación de alimentos de origen animal, aunque por supuesto no puede descartarse a los de tipo vegetal. La disposición de las cerámicas en torno al hogar y la presencia significativa de restos óseos, entre los cuales destacan los de cérvidos, complementan y sostienen los resultados obtenidos por los análisis químicos.

Por lo que respecta a la fuente carenada (recipiente n.º 8) los picos detectados son los mismos que en los casos anteriores, es decir, los característicos de grasas animales (colesterol y di y triacilglicerolés). Sin embargo, la aparición de un esteroide típico de las grasas vegetales como es el sitosterol hace pensar en dos posibles contenidos en el recipientes (Figura 2A).

En cuanto a los recipientes pertenecientes al asentamiento de Marroquies Bajos, sólo en uno de ellos se obtuvieron resultados claros (un fondo de un recipiente sin determinar) y serán comentados conjuntamente con otro perteneciente al yacimiento Remojadero de Pescado (una cazuela, único recipiente que mostró indicadores característicos) (Figura 2B) al mostrar ambos los mismos resultados. En ambos casos los picos detectados están indicando que la sustancia es la cera de abeja. Los indicadores característicos de este producto que han sido identificados son los ésteres de ceras derivados del ácido palmítico y esterificados con alcoholes de diferente longitud de cadena (C40, C42, C44, C46, C48 y C50), y los alcanos nC23, nC25, nC27, nC29, nC31, nC33. Al mismo tiempo y reforzando más la presencia de la cera de abeja se han detectado también los productos de degradación de los ésteres de ceras: alcoholes C24(OH), C26(OH), C28(OH) y C30(OH) (Heron *et al.*, 1994; Charters *et al.*, 1995).

La identificación de la cera de abeja ya ha sido puesta de manifiesto en otras investigaciones, sin embargo en ninguna de ellas se ha podido llegar a una interpretación definitiva de su presencia. Por lo tanto, en el momento actual la existencia de la cera de abeja en el interior de recipientes cerámicos puede ser explicada de varias maneras: uso de la cera como aislante interno para evitar filtraciones o que la cera fuera el contenido mismo. Incluso, y en un nivel más hipotético, esa cera podría indicar de manera indirecta el consumo de miel en ambos asentamientos.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento por su colaboración a los directores de las excavaciones mencionadas: Rafael Lizcano, M.^a Ángeles Royo y Juan Pedro Bellón. También queremos mostrar nuestra gratitud por su asesoramiento y por el apoyo técnico prestado al Dr. Richard Evershed (Departamento de Geoquímica Orgánica de la Universidad de Bristol).

BIBLIOGRAFÍA

- BELLON, J. P.; LISALDE, M. R.; BARBA, V. y LIRIO, F.
(1996) Informe sobre la intervención de urgencia en la calle Huérfanos 10 y calle Remojadero de Pescado 3 y 5, Jaén. Delegación de Cultura de Jaén. Inédito.
- CHARTERS, S.; EVERSLED, R. P.; BLINKHORN, P. W. y DENHAM, V.
(1995) Evidence for the mixing of fats and waxes in archaeological ceramics. *Archaeometry*, 37 (1): 113-127.
- EVERSHED, R. P.; HERON, C. y GOAD, J.
(1990) Analysis of organic residues of archaeological origin by high-temperature gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry. *Analyst*, 115 (10): 1339-1342.
- EVERSHED, R. P.; STOTT, A. W.; RAVEN, A.; DUDD, S. N.; CHARTERS, S. y LEYDEN, ANN
(1995) Formation of long-chain ketones in ancient pottery vessels by pyrolysis of acyl lipids. *Tetrahedron Letters*, 36 (48): 8875-8878.
- HERON, C.; NEMCEK, N.; BONFIELD, M.; DIXON, D. y OTTAWAY, B. S.
(1994) The Chemistry of Neolithic beeswax. *Naturwissenschaften*, 81: 266-269.
- LIZCANO, R.
(1995) *Las comunidades del Neolítico Final en el Alto Guadalquivir*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- SÁNCHEZ, A.; CAÑABATE, M. L. y LIZCANO, R.
(1996) Phosphorus analysis at archaeological sites: and optimization of the method and interpretation of the results. *Archaeometry*, 38, (1): 151-164.

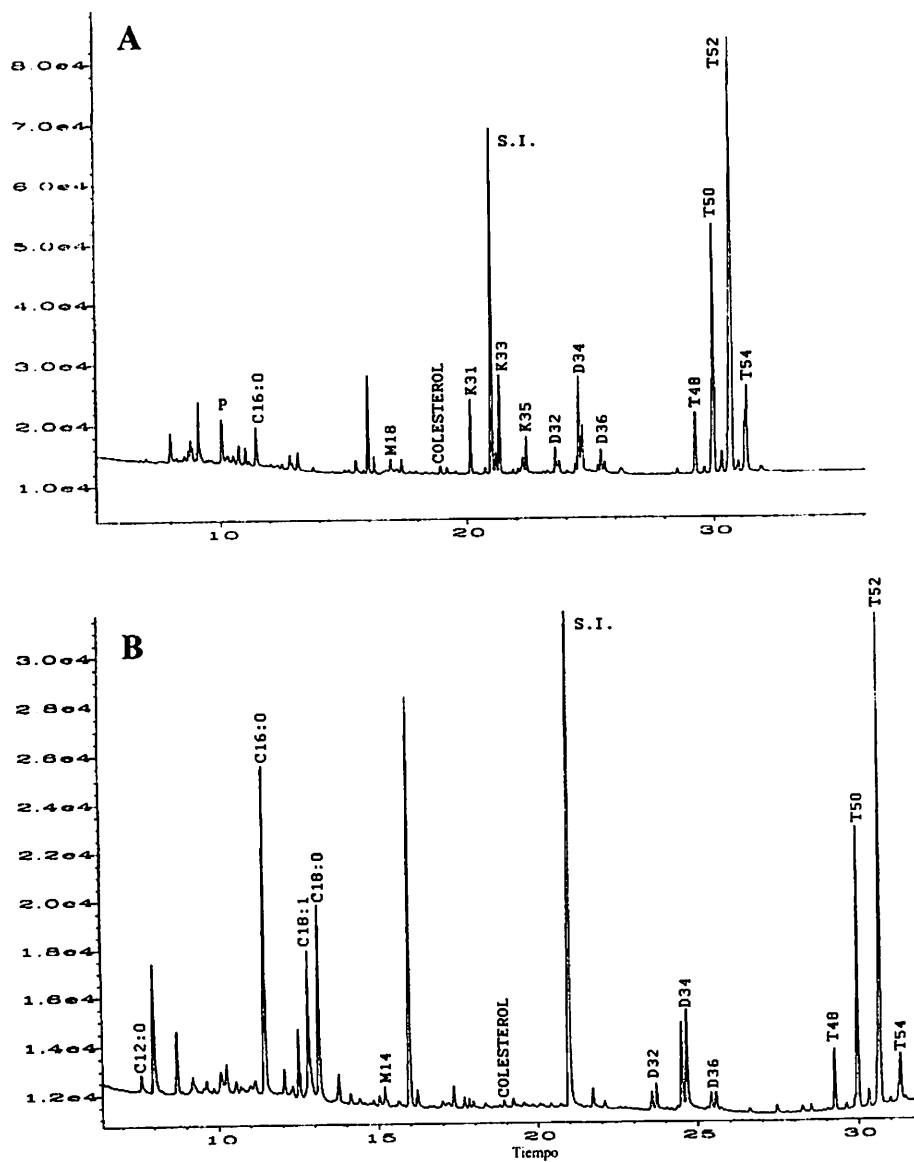


Figura 1. Cromatogramas de la estructura 19 del asentamiento Polideportivo de Martos. Fase principal de ocupación. A: recipiente n.º 1, olla carenada. B: recipiente n.º 6, forma sin determinar.

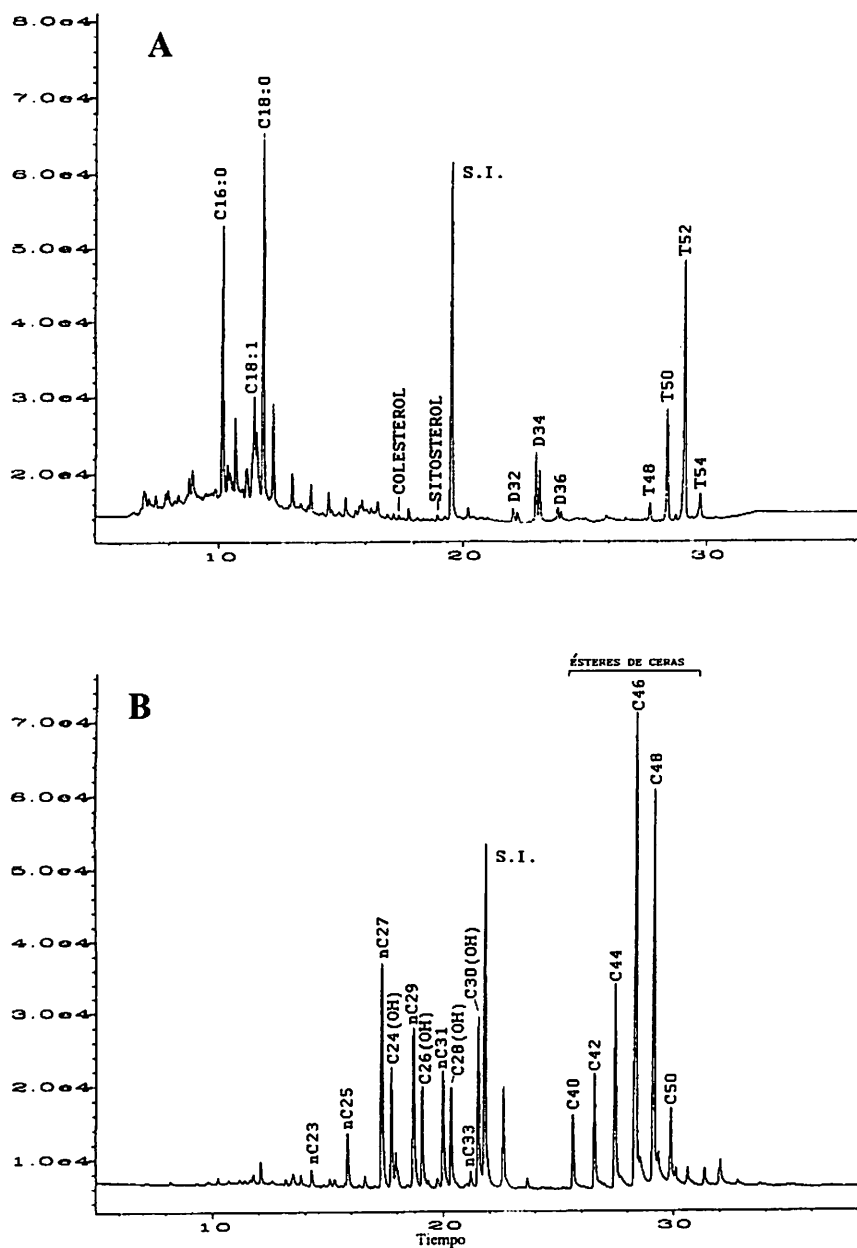


Figura 2. A: cromatograma de la fuente carenada (recipiente n.º 8) de la primera fase de ocupación de la estructura 19 del asentamiento. Polideportivo de Martos. B: cromatograma de la cazuela perteneciente al asentamiento del solar de las calles Remojadero de Pescado y Huérfanos.

CONTRIBUCIÓN DE LA DATACIÓN POR RADIOCARBONO AL ESTABLECIMIENTO DE LA CRONOLOGÍA ABSOLUTA DE LA PREHISTORIA MENORQUINA

por

J. S. MESTRES I TORRES¹ y J. C. DE NICOLÁS I MASCARÓ²

RESUMEN

La recopilación del inventario de fechas radiocarbónicas referidas a Menorca y la posterior selección de fechas basada en criterios de validez, ha permitido estimar la vigencia de los períodos pretalaiótico y talaiótico que configuran la prehistoria de dicha isla, mediante un método estadísticamente riguroso. Finalmente, el análisis deductivo basado en los anteriores resultados del análisis inductivo ha posibilitado la asignación del período cronocultural a las fechas con atribución cronocultural incierta.

INTRODUCCIÓN

1.1. Aplicaciones de la datación por radiocarbono

El resultado de una datación por radiocarbono, es decir, la fecha radiocarbónica, es una fuente de información cronológica que puede utilizarse de dos maneras distintas según el conocimiento que se tenga de la entidad o contexto arqueológico a que se refiere dicha fecha. Si la entidad arqueológica es identificable, la fecha radiocarbónica se integra en el inventario constituido por las otras fechas referidas a la misma entidad arqueológica y, posteriormente, el análisis de este inventario permitirá estimar la duración de la vigencia de la entidad arqueológica en el pasado prehistórico y su situación dentro del marco cronológico, es decir, permitirá estimar su período de vigencia. La inferencia del período de vigencia de una entidad arqueológica, a través del inventario de

1. Laboratori de Datació per Radiocarboni. Universitat de Barcelona-Institut d'Estudis Catalans.

2. Institut Menorquí d'Estudis.

las fechas radiocarbónicas a él referida, puede efectuarse ya de una manera implícita e intuitiva, ya de una manera gráfica (Gascó, 1985; Evin *et al.*, 1990; Miró, 1994; Molist *et al.*, 1996), ya mediante el análisis de la frecuencia (Castro *et al.*, 1996; 1997) o de la probabilidad (Arias, 1995) de las fechas o bien de una manera estadísticamente rigurosa mediante el análisis probabilístico del conjunto de las fechas radiocarbónicas que integran el inventario (Mestres, 1995; Mestres y Martín, 1996; Cuesta *et al.*, 1997). En estas condiciones las fechas radiocarbónicas se utilizan con una finalidad **inductiva**.

Si por el contrario, la entidad arqueológica es desconocida, su fecha radiocarbónica puede compararse con las fechas radiocarbónicas ya existentes del registro arqueológico general e inferir así su atribución cronocultural o bien establecer relaciones de sincronía o diacronía con otras entidades arqueológicas conocidas. En estas circunstancias, la fecha radiocarbónica se utiliza con una finalidad **deductiva**. La forma más inmediata de utilizar una fecha radiocarbónica es la deductiva, pero conviene observar que la utilización deductiva de una fecha radiocarbónica exige un análisis inductivo previo, al menos implícito, de los inventarios de fechas radiocarbónicas de que ya se dispone.

1.2. La prehistoria de la isla de Menorca

El estudio de los restos arqueológicos de Menorca permite dividir la prehistoria de la isla en dos grandes períodos. El período de referencia es el período **Talaiótico**, caracterizado por unos rasgos arquitectónicos netamente definidos y con una notable homogeneidad en sus artefactos que le confiere el carácter de cultura arqueológica (Castro *et al.*, 1997). El espacio de tiempo anterior al período Talaiótico se denomina período **Pretalaiótico** y carece de la homogeneidad arquitectónica y artefactual propia del período Talaiótico. El denominado período pretalaiótico incluye manifestaciones arqueológicas diversas tales como poblados de naviformes —a veces denominados «navetas de habitación»—, cuevas naturales, sepulcros megalíticos, hipogeos de planta alargada y de planta circular con techo cupuliforme, sepulcros colectivos en navetas y cerámica, y otros artefactos diferenciados. La cultura talaiótica evoluciona en el tiempo y las etapas tardías reciben el nombre de Talaiótico Final o Posttalaiótico según que se destaquen los elementos de continuidad o de ruptura; finalmente, los rasgos distintivos del período talaiótico se desvanecen totalmente con la ocupación romana, ocurrida el año 123 a.C., y es entonces cuando se considera que finaliza este período cronocultural. En el presente trabajo no se distinguirán fases dentro del período talaiótico.

1.3. Objetivo del trabajo

El objetivo del presente trabajo es aplicar el análisis inductivo a las fechas radiocarbónicas con una atribución cronocultural inequívoca a los períodos pretalaiótico o talaiótico e inferir así los períodos de vigencia de tales entidades arqueológicas. En una etapa posterior, teniendo en cuenta los resultados del análisis inductivo, se aplicará el análisis deductivo para asignar su pe-

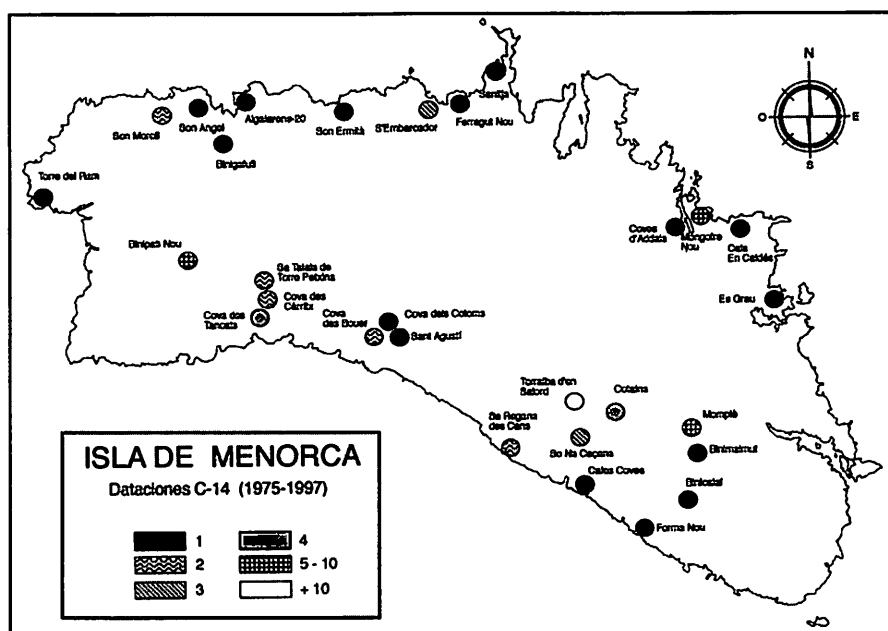


Fig. 1. Localización de los yacimientos arqueológicos de la isla de Menorca datados por radiocarbono.

ríodo cronocultural a las fechas cuya atribución cronocultural, basada puramente en el análisis arqueológico, sea incierta.

EL INVENTARIO DE LAS FECHAS RADIOCARBÓNICAS

La consulta bibliográfica ha permitido hacer un acopio de 48 fechas radiocarbónicas referidas a la isla de Menorca, que reunidas con las 19 fechas —correspondientes a 13 yacimientos— determinadas por el *Laboratorio de Datación por Radiocarbono de la Universidad de Barcelona*, en virtud de la aplicación de un convenio de colaboración suscrito por el *Institut d'Estudis Catalans* y el *Institut Menorquí d'Estudis*, y las 9 fechas —correspondientes a 4 yacimientos— financiadas conjuntamente por el *Museo* y el *Centro de Investigaciones Arqueológicas de Deyá* y la *Asociación para la Defensa del Patrimonio Histórico de Menorca*, y determinadas por el *Institut Royal du Patrimoine Artistique* de Bruselas, totalizan un inventario de 76 fechas radiocarbónicas. La figura 1 muestra la localización de los yacimientos menorquines datados por radiocarbono.

El Apéndice muestra el inventario de fechas radiocarbónicas referidas a la isla de Menorca ordenadas alfabéticamente según el nombre del yacimiento ar-

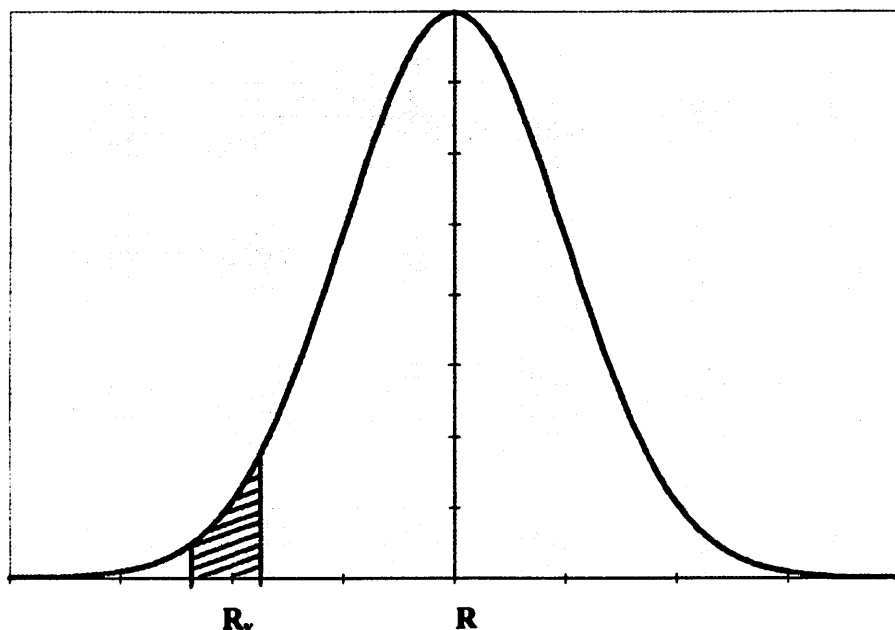


Fig. 2. Representación gráfica de la distribución de probabilidad asociada a una fecha radiocarbónica $R \pm \sigma(R)$. El área rayada representa la probabilidad de que la verdadera fecha radiocarbónica R_v se encuentre en el intervalo de tiempo señalado.

queológico al que corresponden. Cuando un yacimiento posee más de una fecha, éstas se ordenan, si es posible, de acuerdo con su estratigrafía o su cronología relativa deducida de su contexto. El momento cronocultural (5.ª columna) correspondiente a cada una de las fechas se ha deducido exclusivamente del contexto arqueológico en que se encuentra el material datado y no del valor de su fecha radiocarbónica. En la datación de huesos humanos procedentes de contextos funerarios, cada una de las fechas radiocarbónicas se refieren a un momento de la utilización de la estructura funeraria, si se trata de huesos de un solo individuo, o a un momento medio de su utilización, si se trata de una mezcla de huesos de distintos individuos, y no a la construcción de la estructura funeraria. Es necesario destacar que la perduración dentro del período talaiótico de algunos elementos arquitectónicos y cerámicos, así como rituales funerarios que tuvieron su origen en el período pretalaiótico y la deficiente contextualización de algunas de las fechas, ha impedido la atribución de su momento cronocultural a una considerable proporción de ellas; en estas ocasiones, la atribución cronocultural dudosa a uno de ambos períodos se indica mediante el contenido «Pretalaiótico/Talaiótico» en la casilla correspondiente. Las fechas radiocarbónicas se indican mediante su valor experimental (columna con epígrafe R) y su desviación típica (columna encabezada por $s(R)$).

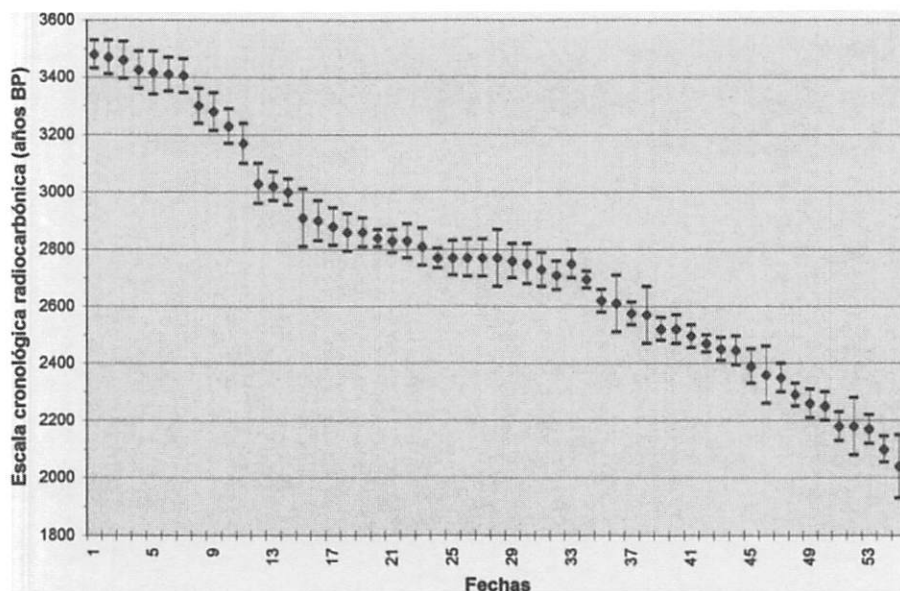


Fig. 3. Representación gráfica de las fechas válidas útiles para el estudio deductivo e inductivo. Cada fecha se representa mediante un segmento de longitud $2\sigma(R)$ centrado en el valor experimental R .

VALIDEZ DE LAS FECHAS RADIOCARBÓNICAS

Independientemente de la finalidad a que se destine, toda fecha radiocarbónica debe cumplir una condición ineludible: su **validez**. Para que una fecha radiocarbónica sea válida debe cumplir dos requisitos necesarios. El primer requisito es de orden técnico y se refiere a que la fecha radiocarbónica cumpla las condiciones de **exactitud** y **precisión**; el segundo requisito es de orden arqueológico y se refiere a que la fecha radiocarbónica sea **representativa** de la entidad o contexto arqueológicos que se pretenden datar.

Por **exactitud** de una fecha radiocarbónica se entiende la buena correspondencia entre la verdadera fecha radiocarbónica del material datado y la fecha radiocarbónica hallada experimentalmente por el laboratorio de datación. La exactitud de una fecha radiocarbónica es competencia del laboratorio y depende de tres factores: de la idoneidad del tratamiento químico aplicado para eliminar la contaminación, de la bondad del procedimiento químico tendente a la medida de la actividad del radiocarbono y de la calidad de la propia medida de la actividad del radiocarbono.

La **precisión** de una fecha radiocarbónica se refiere al espacio de tiempo en que existe la posibilidad de que se halle la verdadera fecha radiocarbónica. A causa de la naturaleza aleatoria de la desintegración radioactiva, una fecha radiocarbónica experimental no es más que una aproximación al verdadero valor de la fecha radiocarbónica, y la relación existente entre la fecha experi-

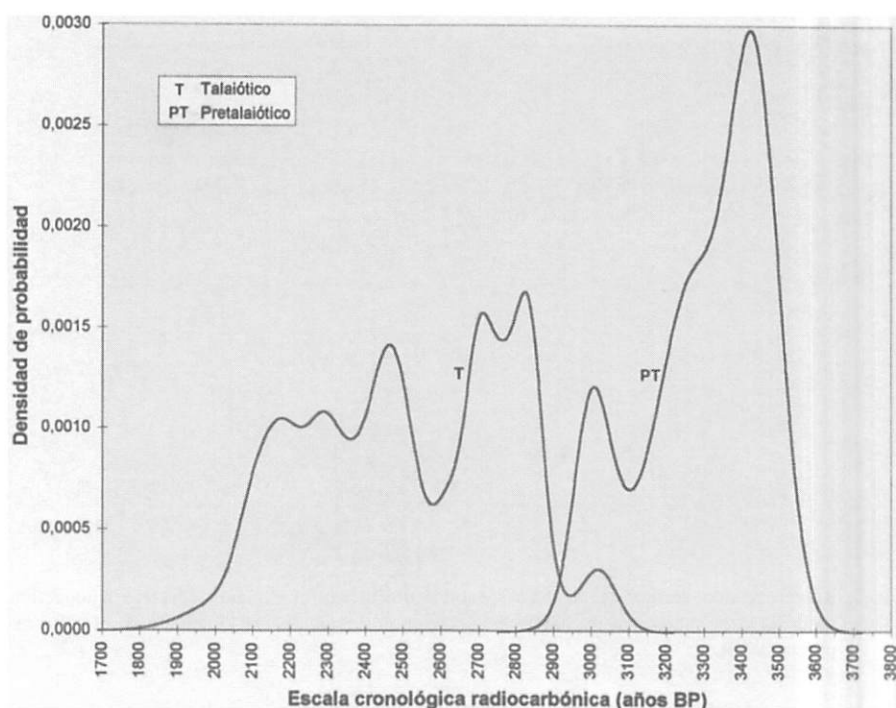


Fig. 4. Distribución de probabilidad asociada a la vigencia de los periodos pretalaiótico y talaiótico en la escala cronológica radiocarbónica.

mental y la fecha verdadera viene definida por una distribución de probabilidad de Gauss centrada en la fecha radiocarbónica experimental. El sentido que tiene la distribución de probabilidad de Gauss es que delimita un intervalo de tiempo caracterizado por el hecho de que en cualquier segmento de tiempo incluido en su interior existe una probabilidad no nula y calculable de que contenga la verdadera fecha radiocarbónica. Para definir completamente una fecha radiocarbónica es necesario, pues, definir su distribución de probabilidad de Gauss asociada, la cual se caracteriza por medio de dos parámetros: su valor medio y su desviación típica. Por este motivo, una fecha radiocarbónica se expresa mediante el formato $R \pm \sigma(R)$, donde R representa la fecha radiocarbónica experimental y $\sigma(R)$, la desviación típica de su distribución de probabilidad de Gauss asociada. La ecuación que describe la distribución de probabilidad de Gauss asociada a una fecha radiocarbónica es la siguiente:

$$dP/dR_v = \varphi(R_v) = [1/\sigma(2\pi)^{1/2}] \times \exp[-(1/2) \times \{(R_v - R)/\sigma\}^2]$$

donde R_v representa el verdadero valor de la fecha radiocarbónica. La figura 2 muestra la representación gráfica de una fecha radiocarbónica y su interpretación. Obviamente, cuanto menor es la desviación típica de una fecha radiocar-

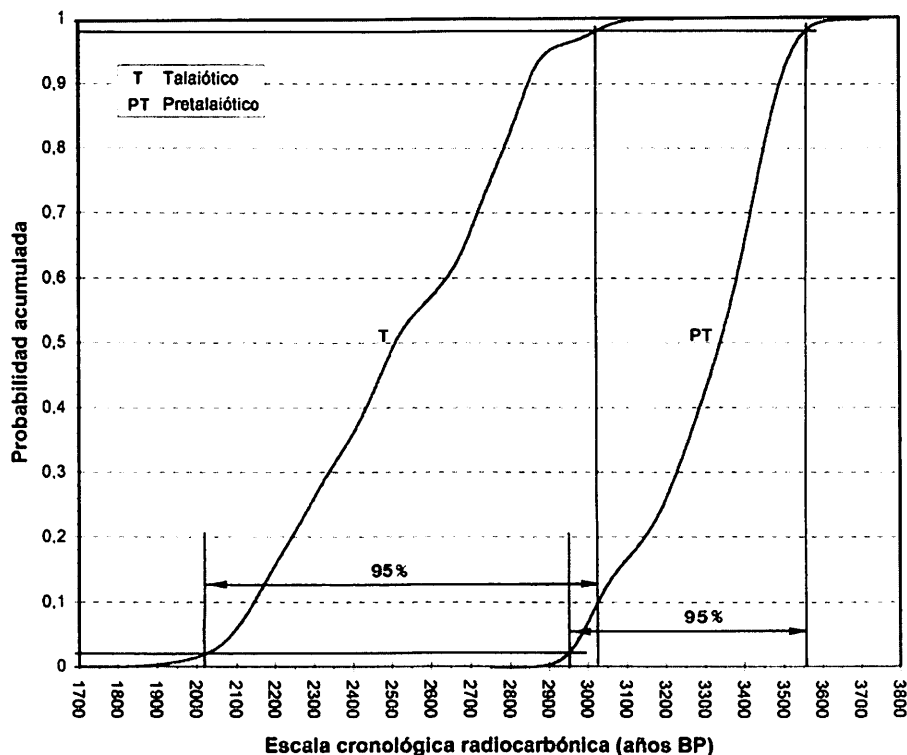


Fig. 5. Probabilidad acumulada, en la escala cronológica radiocarbónica, correspondiente a la vigencia de los periodos pretalaiótico y talaiótico, y cálculo del período de vigencia con un nivel de confianza del 95%.

bónica, mayor es su precisión. El grado de validez de una fecha radiocarbónica respecto a su precisión no es un concepto absoluto, sino que depende de la disponibilidad y de la precisión de otras fechas relacionadas con ella.

Por **representatividad** de una fecha radiocarbónica se entiende la buena correspondencia entre la fecha radiocarbónica del material datado y la fecha radiocarbónica de la entidad o contexto arqueológico que se pretende datar. El origen de este requisito es la propia naturaleza de la datación por radiocarbono, ya que ésta data la formación de materiales y no los acontecimientos arqueológicos en que participan o los contextos arqueológicos en que se encuentran tales materiales. De ahí se deduce que para que una fecha radiocarbónica sea representativa, el material datado debe cumplir dos condiciones: en primer lugar, que el material mismo o su presencia en el contexto arqueológico sea producto de la actividad del grupo humano que creó el contexto y, en segundo lugar, que su formación sea contemporánea al contexto arqueológico. Estas dos condiciones del material datado se denominarán **asociación** y **sincronía**, respectivamente, y juntas conforman la **representatividad** de la fecha radiocarbónica.

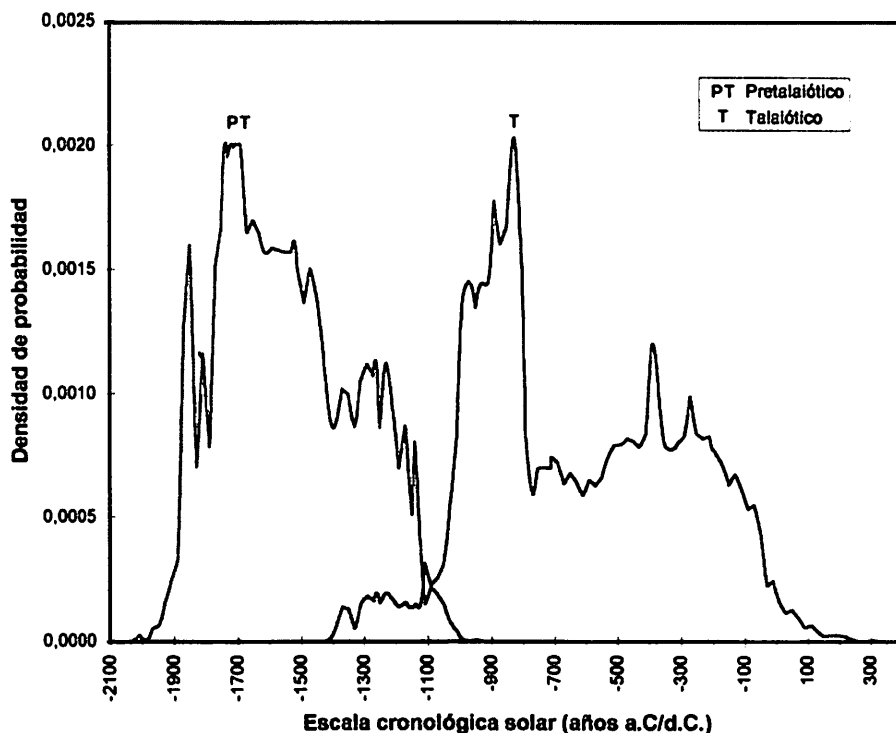


Fig. 6. Distribución de probabilidad asociada a la vigencia de los períodos pretalaiótico y talaiótico en la escala cronológica solar.

nica. La asociación no comporta necesariamente sincronía, ya que puede haber asociación sin sincronía.

El inventario original de 76 fechas radiocarbónicas se ha sometido a un examen de validez con la finalidad de excluir aquellas fechas que, por ofrecer dudas acerca del cumplimiento de algunos de los requisitos de exactitud, precisión o representatividad, se consideren inválidas para el análisis inductivo o deductivo. Se excluyen también algunas fechas que aún siendo válidas no son útiles para la finalidad del presente trabajo. La columna del apéndice encabezada con el epígrafe «**Observaciones**» indica las fechas excluidas y el motivo de la exclusión. Con tales exclusiones, el número de fechas válidas y útiles del inventario se reduce a 55 (representación gráfica en la figura 3) con la siguiente distribución en la atribución del período cronocultural: período pretalaiótico, 12; período talaiótico, 26 y atribución dudosa a uno de ambos períodos, 17.

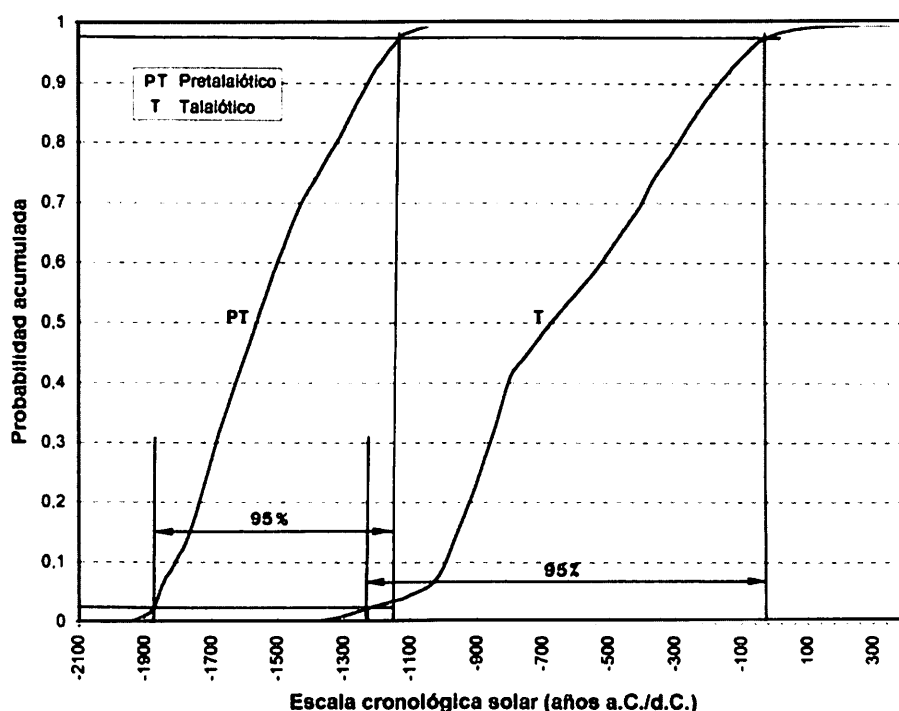


Fig. 7. Probabilidad acumulada, en la escala cronológica solar, correspondiente a la vigencia de los periodos pretalaiótico y talaiótico y cálculo del periodo de vigencia con un nivel de confianza del 95%.

CALIBRACIÓN DE LAS FECHAS RADIOCARBÓNICAS

Es sabido que la hipótesis fundamental en que se basa la datación por radiocarbono no se cumple exactamente, y por este motivo la datación por radiocarbono genera su propia escala cronológica denominada **escala cronológica radiocarbónica** que discrepa de la escala cronológica solar. La transformación de las fechas radiocarbónicas en fechas solares recibe el nombre de calibración. La dendrocronología permite establecer empíricamente la relación existente entre la escala cronológica radiocarbónica y la escala cronológica solar, y la representación gráfica de la función empírica $R = f(T)$ que correlaciona ambas escalas cronológicas se denomina curva de calibración. La curva de calibración no establece una relación biunívoca entre la escala cronológica radiocarbónica y la escala cronológica solar, sino que a cada fecha radiocarbónica puede corresponder más de una fecha solar. La calibración de una fecha radiocarbónica es un proceso complicado por tres motivos: a) por el carácter no puntual sino probabilístico de las fechas radiocarbónicas; b) por la forma compleja de la curva de calibración, y c) por la incertidumbre que afecta los puntos de la propia curva de calibración

La distribución de probabilidad de la verdadera fecha calibrada T viene dada por la siguiente expresión, obtenida al substituir la verdadera fecha radiocarbónica R_v en la ecuación de la distribución de probabilidad de la fecha radiocarbónica (Apdo. 3) por la expresión de la curva de calibración

$$dP/dT = \psi(T) = [k/\sigma_T(2\pi)^{1/2}] \times \exp[-(1/2) \times \{(f<T> - R)/\sigma_T\}^2]$$

donde k es una constante de normalización y σ_T representa la desviación típica total que incluye la de la propia curva de calibración. La distribución de probabilidad de la fecha calibrada es compleja a causa de la complejidad de la curva de calibración $R = f<T>$: es una distribución de probabilidad multimodal y presenta tantas modas máximas como veces se cumpla la condición $f<T> - R = 0$, es decir, como intersecciones presente la curva de calibración con la fecha radiocarbónica.

PERÍODOS DE VIGENCIA

Desde el punto de vista arqueológico se entiende por período de vigencia de una entidad arqueológica con una duración intrínseca el intervalo de tiempo asociado a su registro arqueológico. Si éste es susceptible de datación por radiocarbono, puede obtenerse un conjunto de fechas radiocarbónicas relacionadas entre sí por su representatividad de la entidad arqueológica y entonces el estudio del conjunto de fechas puede suministrar información sobre el período de vigencia de la entidad arqueológica en cuestión. Desde el punto de vista estadístico, se entiende por período de vigencia de una entidad arqueológica el período de tiempo caracterizado por el hecho de que en cualquier segmento temporal incluido en su interior existe una probabilidad no nula y calculable de que contenga al menos una de las verdaderas fechas procedentes del conjunto inicial de fechas radiocarbónicas. Para el establecimiento del período de vigencia pueden utilizarse tanto las fechas radiocarbónicas como las fechas calibradas y cada una de ellas presenta ventajas e inconvenientes. Así, utilizando las fechas radiocarbónicas se obtienen los períodos de vigencia expresados en la escala cronológica radiocarbónica, pero se tiene la ventaja de la facilidad del análisis inductivo a causa de la relativa sencillez de la expresión de las fechas radiocarbónicas en comparación con las fechas calibradas. La utilización de las fechas calibradas presenta la ventaja de que se obtiene el período de vigencia expresado en la escala cronológica solar, pero tiene el inconveniente de que dificulta el análisis inductivo a causa de la complejidad de la expresión de las fechas calibradas.

Para el cálculo del período de vigencia se considera un conjunto de n fechas radiocarbónicas representativas de una entidad arqueológica concreta. Si $R_i \pm \sigma(R_i)$ representa una de las fechas radiocarbónicas del conjunto y $\phi_i(R)$ representa la distribución de probabilidad de su verdadero valor, la probabilidad dp_i que la verdadera fecha radiocarbónica i se encuentre en el intervalo de tiempo $[R, R+dR]$ es

$$dp_i = \phi_i(R) dR$$

La probabilidad dP que una cualquiera de las fechas se encuentre en aquel intervalo es

$$dP = (1/n) \sum_i dp_i = (1/n) \sum_i \phi_i(R) dR$$

Esta expresión escrita en forma de derivada adopta la siguiente forma

$$dP/dR = \Phi(R) = (1/n) \sum_i \phi_i(R)$$

La última ecuación indica que la probabilidad de que una cualquiera de las fechas se encuentre en un intervalo de tiempo no es nula en tanto la densidad de probabilidad $\Phi(R)$ no sea nula y que, por consiguiente, a cada período de vigencia le corresponde una distribución de probabilidad dada por esta ecuación. Análogamente, para las fechas calibradas, el período de vigencia viene definido por la distribución de probabilidad $\Psi(T)$

$$dP/dT = \Psi(T) = (1/n) \sum_i \psi_i(T)$$

donde $\psi_i(T)$ representa la distribución de probabilidad de cada una de las fechas calibradas.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS INDUCTIVO Y DEDUCTIVO

La aplicación de los cálculos descritos en el apartado anterior a las fechas radiocarbónicas con una atribución cronocultural inequívoca, permite inferir la vigencia de los períodos pretalaiótico y talaiótico en la escala cronológica radiocarbónica, y la posterior calibración de dichas fechas mediante el programa CALIB 3.03 (Stuiver y Reimer, 1993) permite estimar los períodos de vigencia en la escala cronológica solar. Las figuras 4 y 5 muestran los períodos de vigencia representados como distribuciones de probabilidad expresadas en las escalas cronológicas radiocarbónica y solar, respectivamente.

Aunque el período de vigencia representado por una distribución de probabilidad es un concepto muy preciso, sus límites son indefinidos puesto que los extremos de las distribuciones de probabilidad tienden a cero asintóticamente. Con la finalidad de resolver este problema y poder expresar el período de vigencia numéricamente, éste se representa mediante los extremos de un intervalo de tiempo que centrado en la mediana de la distribución de probabilidad tenga una probabilidad determinada de contener una cualquiera de las fechas del conjunto representativo de la entidad arqueológica estudiada. Para calcular tales valores numéricos se utiliza la probabilidad acumulada, calculada por integración numérica de la densidad de probabilidad $\Phi(R)$ o $\Psi(T)$. Las figuras 6 y 7 ilustran el cálculo de la vigencia de los períodos pretalaiótico y talaiótico para un nivel de confianza del 95% expresados en las escalas cronológicas radiocarbónica y solar, respectivamente. La siguiente tabla muestra una síntesis de los resultados alcanzados.

PERÍODOS DE VIGENCIA (Nivel de confianza del 95%)

	Escala cronológica radiocarbónica	Escala cronológica solar
Pretalaiótico	3545 – 2955 BP	1874 – 1136 a.C.
Talaiótico	3000 – 2035 BP	1224 – 38 a.C.

Una vez concluido el análisis inductivo con la estimación de la vigencia de los períodos pretalaiótico y talaiótico, puede emprenderse el análisis deductivo con la finalidad de asignar el período cronocultural a las fechas radiocarbónicas con atribución incierta. La tabla siguiente muestra los resultados alcanzados.

Resultados del análisis deductivo

Conjunto arqueológico	Código del laboratorio	Fecha radiocarbónica	Período cronocultural atribuido
Cova des Bouer	KIK-397/UiC-3739	3480 ± 50 BP	Pretalaiótico
Naveta de Son Morell	HAR-3413	2910 ± 100 BP	Transición de pretalaiótico a talaiótico
Naveta de Binipati Nou	OxA-5815	2900 ± 70 BP	Transición de pretalaiótico a talaiótico
Naveta de Binipati Nou	OxA-5814	2880 ± 65 BP	Talaiótico
Naveta de Binipati Nou	OxA-5817	2860 ± 65 BP	Talaiótico
Naveta de Cotaina	UBAR-424	2860 ± 50 BP	Talaiótico
Cova des Bouer	KIK-401/UiC-3743	2770 ± 34 BP	Talaiótico
Naveta de Binipati Nou	OxA-5813	2770 ± 65 BP	Talaiótico
Naveta de Binipati Nou	OxA-5816	2770 ± 65 BP	Talaiótico
Naveta de Son Morell	HAR-2909	2770 ± 100 BP	Talaiótico
Naveta de Binimaimut	UBAR-425	2760 ± 60 BP	Talaiótico
Naveta de Binipati Nou	OxA-5812	2750 ± 70 BP	Talaiótico
Es Grau	UBAR-428	2610 ± 100 BP	Talaiótico
Naveta de Cotaina	CSIC-834	2520 ± 40 BP	Talaiótico
Naveta de Cotaina	IRPA-1046	2575 ± 40 BP	Talaiótico
Son Àngel	UBAR-429	2260 ± 50 BP	Talaiótico

VALORACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La estimación de los períodos de vigencia es tanto más exacta cuanto mayor sea el número de fechas radiocarbónicas de que se disponga. En este trabajo, que no pretende ser otra cosa que una propuesta de metodología del estudio de un inventario, el número de fechas inequívocamente correspondientes a cada período cronocultural es limitado, sobre todo el número de fechas referido al período pretalaiótico. En consecuencia, los períodos de vigencia estimados tienen un carácter provisional a la espera de nuevas fechas con atribución cronocultural inequívoca, que engrosen el inventario de fechas de que ya se

dispone. Aun en estas circunstancias, merece la pena destacar la confirmación cronométrica radiocarbónica de la apreciación puramente arqueológica del carácter transicional entre los períodos pretalaiótico y talaiótico (Castro *et al.*, 1996; 1997) de las navetas como monumento funerario colectivo. En efecto, las fechas radiocarbónicas más antiguas de las navetas de *Son Morell* y *Bini-pati Nou* se encuentran en el extremo final de la vigencia del período pretalaiótico, mientras que el resto de las fechas de las navetas se encuentra en la primera mitad de la vigencia del período talaiótico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al *Institut d'Estudis Catalans* y al *Institut Menorquí d'Estudis* por la financiación de las dataciones realizadas en el *Laboratori de Datació per Radiocarboni de la Universitat de Barcelona*, a la Sra. Silvia Soriano por su valiosa labor en el tratamiento químico de las muestras a que se refiere este trabajo en el mencionado laboratorio y al Dr. Fernán Alonso del Laboratorio de Geocronología del Instituto de Química Física «Rocasolano» del CSIC (Madrid) por su amable suministro de fechas inéditas.

REFERENCIAS

- ALONSO, F.,
(1997) Comunicación personal.
- ALONSO, F.; CABRERA, V.; CHAPA, T. y M. FERNÁNDEZ-MIRANDA
(1978) Índice de fechas arqueológicas de C-14 para España y Portugal en *C-14 y Prehistoria de la Península Ibérica*, 155-183. Fundación Juan March. Serie Universitaria 77. Madrid
- ARIAS, P.
(1995) La cronología absoluta del Neolítico y el Calcolítico en la Región Cantábrica. Estado de la cuestión. *Eusko Ikaskuntza-Sociedad de Estudios Vascos. Cuadernos de Sección. Prehistoria-Arqueología*, 6, 15-39.
- BOWMAN, S. G. E.; AMBERS, J. C. y LEESE, M. N.
(1990) Re-evaluation of British Museum Radiocarbon Dates issued between 1980 and 1984. *Radiocarbon*, 32(1), 59-79.
- BURLEIGH, R.; AMBERS, J. y MATTHEWS, K.
(1982) British Museum Natural Radiocarbon Measurements XIV. *Radiocarbon*, 24(3), 229-261.
- BURLEIGH, R.; AMBERS, J. y MATTHEWS, K.
(1983) British Museum Natural Radiocarbon Measurements XVI. *Radiocarbon*, 25(1), 39-58.

- CASTRO, P. V.; LULL, V. y MICÓ, R.
(1996) Cronología de la Prehistoria Reciente de la Península Ibérica y Baleares. *BAR International Series*, 652.
- CASTRO, P. V.; GILI, S.; GONZÁLEZ, P.; LULL, V.; MICÓ, R. y RIHUETE, C.
(1997) Cronología de las Islas Baleares desde los inicios del poblamiento humano hasta el cambio de era. La aportación de las dataciones radiocarbónicas. *Meloussa*, en prensa.
- CUESTA, F., J. F. JORDÁ, J. L. MAYA, y J. S. MESTRES
(1996) Radiocarbono y cronología de los castros asturianos. *Zephyrus*, II, en prensa.
- DAUCHOT-DEHON, M. y VAN STRYDONK, M.
(1989) Institut Royal du Patrimoine Artistique Radiocarbon Dates XIII. *Radiocarbon* 31(2), 197.
- EVIN, J.; AURENCHE, O. y GASCO, J.
(1987) Techniques for the Classification, Selection and Interpretation of a Series of 14C Dates from the Near East. *Proceedings of the Second International Symposium 14C and Archaeology*. 105-125. Eds. W.G. Mook y H.T. Waterbolk. PACT 29, 1990.
- FERNÁNDEZ-MIRANDA, M.
(1978) La prehistoria balear y sus dataciones absolutas en *C14 y Prehistoria de la Península Ibérica*, 125-143. Fundación Juan March. Serie Universitaria, 77. Madrid.
- FLAQUER, J.
(1910) La naveta de Cotayna. *Revista de Menorca*, 142-145.
- GASCO, J.
(1985) Histogrammes et dates radiocarbones. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 82(4), 108-111.
- GORNÉS, S., GUAL, J.; LÓPEZ, A. y DE NICOLÁS, J. C.
(1992) Nous monuments funeraris del món pretalaiòtic de Menorca. *XII Jornades d'Estudis Històrics Locals*, 419-441. Palma.
- HEDGES, R. E. M.; PETTITT, P. B.; RAMSAY, C. B. y VAN KLINKEN, G. J.
(1996) Radiocarbon dates from the Oxford AMS System: Archaeometry Data-list 22. *Archaeometry*, 38(2), 409-410.
- MESTRES, J. S.
(1995) La datació per radiocarboni i el calibratge de les dates radiocarbòniques. Objectius, problemes i aplicacions. *Revista d'Arqueologia de Ponent* 5, 260-275.
(1996) Datació per Radiocarboni de materials orgànics de procedència arqueològica menorquina. Informe del Laboratorio de Datación por Radiocarbono de la Universidad de Barcelona.
- MESTRES, J. S. y MARTÍN, A.
(1996) Calibración de las fechas radiocarbónicas y su contribución al estudio del Neolítico catalán. *Rubricatum*, 1(2), 791-798.

MIRÓ, J. M.

(1994) La cronologia dels estils ceràmics neolítics a Catalunya i la datació per C-14 de la Timba del Barenys (Riudoms, Tarragona). *Saguntum*, 27, 57-66.

MOLIST, M.; RIBÉ, G. y SAÑA, M.

(1996) La transición del V Milenio cal BC en Catalunya. *Rubricatum*, 1(2), 781-790.

NICOLÁS, J. C. y MOLL, B.

(1985) Tres nous jaciments del món pretalaiòtic de Menorca. *Diario Menorca*, 21/1.

NICOLÁS, J. C. y PONS, M. A.

(en prensa) Enterraments en cista vora la mar a Salairó (Mercadal), un nou tipus de Monument funerari de Talaiòtic final de Menorca. *Meloussa*. Maó.

PLANTALAMOR, L.

(1976/77) Algunas consideraciones sobre los sepulcros megalíticos de Menorca. *Sautuola*, II, 158-159.

PLANTALAMOR, L.

(1991) L'arquitectura prehistòrica i protohistòrica de Menorca i el seu marc cultural. *Treballs del Museu de Menorca*, 12.

PLANTALAMOR, L. y SASTRE, J.

(1991) Excavació d'urgència a la naveta de Binipati Nou (Ciutadella). *Meloussam* 2, 163-172.

STUIVER, M. y REIMER, P.

(1993) Extended 14C Data Base and Revised CALIB 3.0 Age Calibration Program. *Radiocarbon*, 35(1), 215-230.

VAN STRYDONK, M.

(1997) Comunicació personal

VAN STRYDONK, M., FOREST, L.; LANDRIE, M.; HENDRIX, V.; VAN DER BORG, K. y DE JONG, A. F. M.

(1995) Royal Institute for Cultural Heritage Radiocarbon Dates XV. *IRPA/KIK*, 3-48.

VENY, C.

(1974) Anotaciones sobre la cronología de las navetas de Menorca. *Trabajos de Prehistoria*, 31, 101-142.

(1982) Las navetas. *Geografía e Historia de Menorca*, III, 177-311. Menorca.

WALDREN, W. H.

(1986) The Balearic Pentapartite Division of Prehistory. *BAR International Series*, 282, Oxford

(1992) Radiocarbon and Other Isotopic Age Determinations from the Balearic Islands. *DAMARC*, 26.

IDENTIFICACIÓN DE GALERÍAS EN REGISTROS DE GEO-RADAR. EJEMPLOS DE INTERÉS ARQUEOLÓGICO

por

Henrique LORENZO¹, Vicente CUÉLLAR²
y M. Carmen HERNÁNDEZ³

RESUMEN

El geo-radar, como método de prospección geofísica alta resolución, es una herramienta enormemente útil en la detección y reconocimiento de galerías de interés arqueológico. La habitual geometría bien definida de estas últimas provoca hipérbolas de reflexión bastante simétricas, lo que sumado a la magnitud de las reflexiones motivadas por el gran contraste electromagnético entre el volumen de aire de la galería y el material que la rodea (suelos o rocas), permite identificarlas entre otros reflectores del subsuelo. En el presente trabajo se recoge una muestra significativa de registros de geo-radar localizando galerías de dimensiones y profundidades diferentes. Los trabajos fueron efectuados con un geo-radar SIR-8 de GSSI, con antenas monoestáticas de 120 y 500 MHz.

INTRODUCCIÓN

El geo-radar es un método de prospección geofísica basado en la emisión de impulsos electromagnéticos de muy corta duración (1-20 ns) en la banda de frecuencias de VHF-UHF (habitualmente en un rango entre 10 MHz — 2 GHz). Cuando mediante una antena emisora se generan dichos impulsos, éstos en su trayectoria a través del subsuelo pueden encontrarse con un cambio de sustrato, algún tipo de objeto enterrado o, en el caso que nos ocupa, una galería. El proceso de detección se produce por un cambio en las propiedades

1. Instituto de Xeoloxía. Universidade da Coruña. Campus de Zapateira, s.n. A Coruña.

2. Laboratorio de Geotécnica. CEDEX. C/. Alfonso XII, 3 y 5. Madrid.

3. Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Complutense de Madrid. Avda. Complutense, s.n. Madrid.

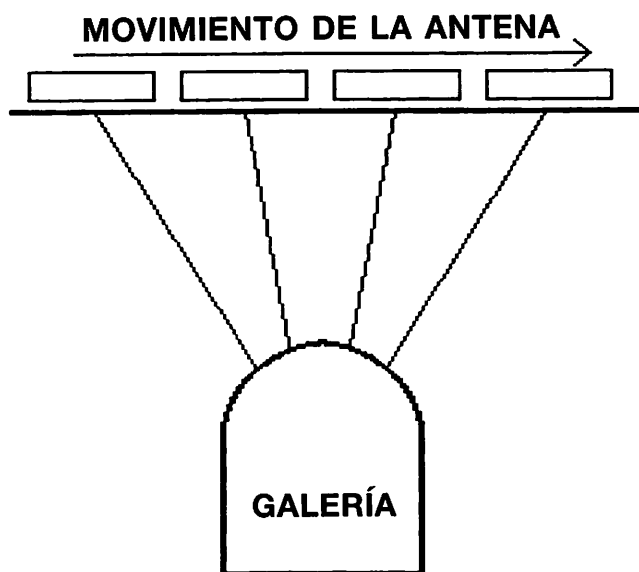


Fig. 1. Geometría de las reflexiones en una galería.

electromagnéticas de los medios atravesados, produciendo que parte de la energía sea reflejada de vuelta, mientras el resto continúa su camino. Disponiendo de una antena receptora en la superficie es posible detectar estas reflexiones, y con ellas generar una serie de registros espacio-tiempo de características similares a los registros clásicos de sismica de reflexión. Al ir desplazando las antenas sobre la superficie se van registrando el conjunto de reflexiones producidas, con lo que se obtiene una imagen bidimensional de la historia de reflexiones bajo la línea de desplazamiento de la antena.

El estudio de las posibilidades de localización de una galería en el interior del subsuelo puede plantearse de igual manera que el de la localización de cavidades de tipo natural. Efectivamente, puesto que la galería está normalmente constituida, a efectos de radar, por un volumen de aire inmerso en una masa de material de propiedades electromagnéticas muy diferentes a las del aire, se producen las condiciones ideales de contraste entre los parámetros electromagnéticos de ambos medios necesarias para la existencia de reflexión.

Pero el principal factor diferenciador de estos reflectores se basa en la geometría bien definida que poseen. En particular la techumbre de estos pasajes subterráneos suele presentar una forma abovedada que permite su localización desde puntos anteriores al paso por su vertical y en puntos posteriores a ésta, dando como resultado un registro en forma de hipérbola característica que permite distinguirlos entre otros reflectores. En la figura 1 se esquematiza el proceso de reflexión de la señal sobre el techo de una galería.

Así pues, la respuesta esperada del radar al localizar una galería se corresponde con registros de hipérbolas bastante simétricas, más o menos achata-

das, en función de varios factores: profundidad, dimensiones y geometría de la galería, dirección de desplazamiento de las antenas respecto a la orientación de la galería y la velocidad de desplazamiento de las antenas.

Con respecto a las antenas idóneas para este tipo de investigaciones, las de 500 Mhz y similares presentan importantes limitaciones en cuanto a su penetración en el terreno, pero en aquellas zonas donde sea capaz de alcanzar la profundidad de la galería permitirá identificar ésta con mayor detalle que las antenas de frecuencia inferior. En principio, y dependiendo de las condiciones particulares de cada suelo, las galerías que estén situadas en los 3 primeros metros del subsuelo constituyen, *a priori*, objetivos idóneos para esta antena, siempre teniendo en cuenta las condiciones particulares de cada suelo. A partir de esta profundidad habrá que recurrir a las antenas de menor frecuencia, teniendo siempre presente su menor capacidad de resolución.

La popularización del uso de equipos de prospección mediante impulsos electromagnéticos se remonta a los años 70, y su campo de aplicación se enfoca al estudio de problemas en el ámbito de la minería y la geología (Unterberger, R.R., 1974, Annan, A.P., Davis, J.L, 1976; Rubin, L.A., Fowler, J.C., 1977), centrándose los objetivos de estos trabajos en la búsqueda de las condiciones máximas de penetración en el subsuelo para este tipo de técnicas. En la década siguiente, comienza a extenderse su uso para la investigación del subsuelo más superficial, allí donde la emisión electromagnética no se ve tan afectada por los fenómenos de atenuación, utilizando antenas de mayores frecuencias (500 MHz-1 GHz), las cuales están capacitadas para proporcionar una resolución submétrica (Ulriksen, C. P., 1982; Glover, J. M., 1987). Es en este momento cuando comienzan a publicarse los primeros estudios de yacimientos arqueológicos mediante radar (Hara, T., Sakayama, T., 1984; Imai, T., Sakayama, T., Kanemori, T., 1987).

CASOS HISTÓRICOS

Se han seleccionado cuatro ejemplos que se consideran significativos de las posibilidades de detección de galerías con geo-radar. En los registros, realizados cada uno de ellos en zonas diferente, es posible reconocer las reflexiones provenientes de galerías de tamaño variable situadas dentro de los primeros cuatro metros del subsuelo.

En dos de los casos que se van a mostrar, *Jardines del Generalife* y *Torre de Comares*, la existencia de un subsuelo conocido con presencia de galerías es aprovechado para comprobar el comportamiento del radar ante estos reflectores. Por su parte, en los dos casos restantes, *Alcalá de Henares* y *Castillo de Sta. Helena*, el objetivo final de la prospección era la localización de unas galerías de las que se tenían ciertas referencias históricas, pero de las que se desconocía su posición exacta. El equipo de geo-radar empleado ha sido el SIR-8 de GSSI con antenas de 500 y 120 Mhz, consideradas como óptimas para este tipo de aplicaciones.

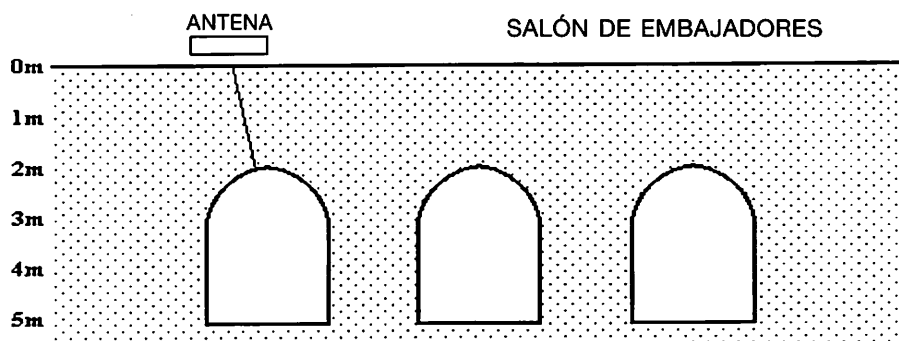


Fig. 2. Sección transversal sobre la que discurre el perfil de geo-radar efectuado.

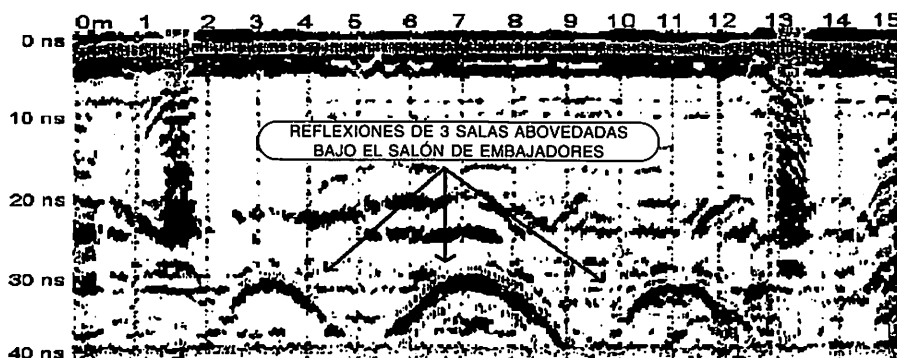


Fig. 3. Registro de radar realizado con la antena de 500 MHz correspondiente a la sección de la figura 2 y en el que se localizan 3 cámaras abovedadas situadas a 2 metros de profundidad.

Torre de Comares (La Alhambra)

En este apartado se presenta uno de los registros obtenidos sobre una serie de pasadizos y habitáculos existentes en los sótanos de la Torre de Comares de La Alhambra. En concreto, bajo el Salón de Embajadores existe un cuerpo de guardia formado por tres habitáculos paralelos situados a 2 metros de profundidad y cuyas dimensiones son 2.2 metros de ancho por 3 metros de altura en su punto máximo, estando separados por muros de 1.5 metros de espesor. Esta situación, esquematizada en la figura 2, fue aprovechada para realizar un perfil de 15 metros a lo largo del Salón con los resultados que se aprecian en la figura 3.

La antena empleada fue la de 500 MHz, en modo monoestático, situando el rango de tiempos en 40ns, con lo que era posible investigar aproximadamente los primeros 3 metros del subsuelo. Las tres bóvedas se reflejan en el registro en forma de hipérbolas de reflexión bien definidas y perfectamente diferenciadas.

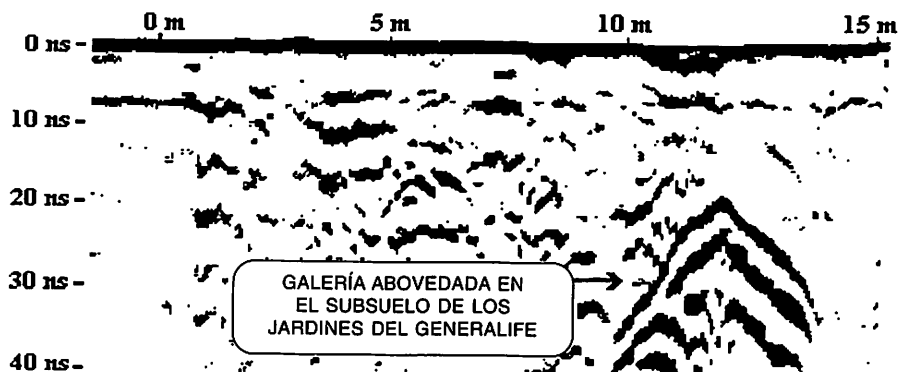


Fig. 4. Perfil de 15 metros realizado con la antena de 120 MHz y un rango de tiempos de 40 ns localizando una galería a modo de alberca a 1.5 metros de profundidad.

Jardines del Generalife

El siguiente registro también fue efectuado en La Alhambra de Granada, en este caso en los Jardines del Generalife. El perfil está incluido en la figura 4, constando de 15 metros de logitud y rango de tiempos 40 ns; la antena seleccionada en este caso ha sido la de 120 Mhz.

Centrado en el metro 12 del perfil se localiza una reflexión con forma hiperbólica, si bien en este caso la geometría de la hipérbola no está tan bien definida como en la figura 3. Las reflexiones están relacionadas con una galería abovedada de grandes dimensiones que actúa a modo de alberca y a la que es posible acceder desde un nivel inferior de los Jardines. La profundidad de esta cámara en su punto más elevado, coincidente con el metro 12 del perfil, fue estimada en 1.5 desde la superficie de desplazamiento de la antena.

Alcalá de Henares

El perfil de la figura 5 recoge la detección de una galería de conducción de aguas de la época árabe, en las cercanías del campus de la Universidad de Alcalá de Henares. La presencia de estas conducciones en el entorno de esta ciudad es sobradamente conocido, si bien no todas ellas están ubicadas con exactitud.

La investigación realizada con el geo-radar tenía como objetivo confirmar la dirección que tomaba una galería parcialmente localizada, pero de la que no se disponía de total continuidad sobre la superficie del terreno. En el citado registro, realizado con la antena de 120 MHz, es posible distinguir la reflexión hiperbólica que delata la presencia de la galería a una profundidad estimada de 3.5-4 metros. Es de destacar que las dimensiones aproximadas de esta galería en sus tramos conocidos no exceden nunca de 2 m de alto y 1 m de ancho, por lo que *a priori* su detección está prácticamente en el límite de resolución de la antena de 120 MHz y hubiese sido más apropiado el empleo de una antena de mayor frecuencia, por ejemplo la de 500 MHz. Sin embargo, en las

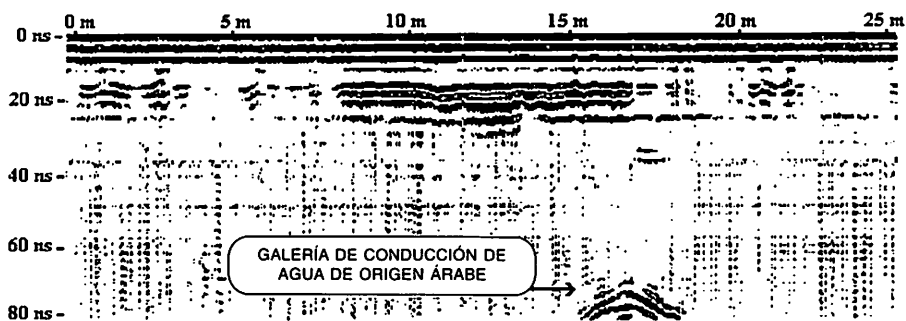


Fig. 5. Hipérbola de reflexión asociada a una galería de conducción de aguas situada aproximadamente a 3,5 m de profundidad (antena de 120 MHz, rango 80 ns, longitud 25 metros).

pruebas realizadas con esta última antena no fue posible identificar ninguna reflexión que estuviese relacionada con la galería, con seguridad debido a la mayor atenuación que sufre la señal emitida por la antena de 500 MHz al propagarse a través del terreno.

Castillo de Sta. Helena

El último de los ejemplos que se presenta en este trabajo trata sobre la detección de una galería en el entorno del Castillo de Santa Helena en Granada. Al respecto de la existencia de esta galería se tenían ciertas referencias históricas, que relataban cómo desde los terrenos del Castillo, ubicado en lo alto de un cerro, se había excavado una galería que tenía su salida a media ladera, en un punto actualmente desconocido. El motivo de esta galería parece estar relacionado con la creación de una infraestructura de evacuación de aguas y detritos, aunque no se descarta que sirviese de evacuación del Castillo ante un posible asedio. La aparición de una gran grieta en uno de los muros de contención del Castillo, hizo sospechar que podía guardar relación con la existencia de esa histórica galería, por lo que se procedió a una investigación con radar con los resultados que se aprecian en la figura 6.

El perfil, de 8 metros de longitud, se ejecutó con la antena de 500 MHz y un rango de tiempos de 60 ns, detectándose las reflexiones de la galería entre los metros 3 y 4 del mismo, a una profundidad estimada de 2.5-3 metros. La excavación posterior confirmó la existencia de la galería buscada a una profundidad de 3.5 metros; sus dimensiones en la zona excavada son del orden de 1.2 m de alto y algo menos de 1 m de ancho, presentando una gran pendiente que, unido a sus reducidas dimensiones, obliga a desplazarse por ella prácticamente sentado sobre el terreno.

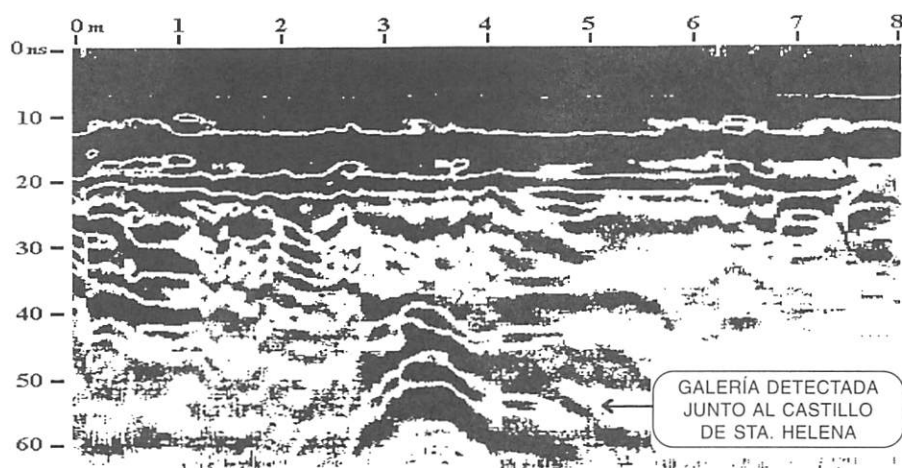


Fig. 6. Detección de una galería histórica con una antena de 500 MHz junto a uno de los muros de contención del Castillo de Santa Helena.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se han seleccionado un total de cuatro ejemplos con el fin de mostrar las enormes posibilidades de la técnica del geo-radar en aplicaciones de tipo arqueológico, en particular en lo referente a la detección y posicionamiento de galerías existentes en el interior del subsuelo. Parte de los ejemplos aprovechan la presencia de galerías, cámaras o habitáculos abovedados en un subsuelo conocido para tarar la respuesta del radar, concretamente de sus antenas de 500 y 120 MHz, con resultados altamente satisfactorios. En otros casos, una vez confirmadas las posibilidades de detección de esta técnica, se emplea el radar para tratar de advertir la presencia de galerías históricas de las que se tenían ciertas referencias, pero de las que se desconocía su posición exacta. El conjunto de habitáculos y galerías estudiados tienen dimensiones y están a profundidades variables, siendo la más pequeña la detectada en el Castillo de Santa Helena (1.2×1 m) y la más profunda la situada en Alcalá de Henares (3.5-4 m).

AGRADECIMIENTOS

Queremos mostrar nuestro sincero agradecimiento al Laboratorio de Geotecnía del CEDEX, propietario del equipo de geo-radar SIR-8 empleado en la totalidad de ejemplos que componen este trabajo. Asimismo, a D. Jorge Calancha del Patronato de La Alhambra por el apoyo prestado en los estudios realizados en La Alhambra y en el Castillo de Sta. Helena.

BIBLIOGRAFÍA

- ANNAN, A. P. y DAVIS, J. L.
(1976) «Impulse radar sounding of permafrost». *Radio Science*, 11, 4, 383-394.
- GLOVER, J. M.
(1987) *The use of sub-surface radar for shallow site investigations*. Ph. D. Thesis, Kings College, University of London, 451 p.
- HARA, T. y SAKAYAMA, T.
(1984) *The applicability of ground probing radar to site investigations*. OYO technical note, 38 p.
- IMAI, T.; SAKAYAMA, T. y KANEMORI, T.
(1987) Use of ground-probing radar and resistivity survey for archaeological investigations. *Geophysics*, v. 52, n.º 2, pp. 137-150.
- LORENZO, E.
(1994) *Prospección geofísica de alta resolución mediante geo-radar. Aplicación a obras civiles*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 203 p.
- ULRIKSEN, C. P.
(1982) *Application of impulse radar to civil engineering*. Ph. D. Thesis, Lund University of Technology, 175 p.
- RUBIN, L. A. y FOWLER, J. C.
(1977) Ground probing radar for delineation of rock features, *Engineering Geology*, 12, pp. 163-170.
- UNTERBERGER, R. R.
(1974) *Electromagnetic wave propagation in salt, probing into salt with radar*: 4th Symposium on salt, v.2, rock mechanics & geophysics. A. H. Coogan ed., pp. 11-26.

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA CON GEO-RADAR EN EL ENTORNO DE LAS «RUINAS DEL CONSUELO» (TAMOHÍ – SAN LUIS POTOSÍ – MÉXICO)

por

D. IBÁÑEZ¹, H. LORENZO²

y

R. ÁLVAREZ³

RESUMEN

En los últimos años la técnica de geo-radar ha visto aumentar su popularidad dentro de los métodos de prospección geofísica empleados en estudios arqueológicos, posiblemente debido a sus características de rapidez, alta resolución y carácter no destructivo. El presente trabajo muestra la prospección realizada con esta técnica en un montículo de dimensiones 50 x 25 m de planta y 5 m de altura, sito en Tamohí, en las cercanías de las Ruinas del Consuelo, que se sospechaba podía ocultar la presencia de alguna estructura de interés arqueológico, en particular una pirámide similar a la presente en las Ruinas del Consuelo.

INTRODUCCIÓN

El geo-radar es un método de prospección geofísica que ha ido tomando fuerza en los últimos años en lo que se refiere a sus aplicaciones en el campo de la arqueología. Los motivos de estas circunstancias hay que buscarlos en sus características de técnica no destructiva, rapidez de operación y alta resolución, especialmente en la exploración de los primeros metros del subsuelo, ahí donde suelen encontrarse gran parte de los yacimientos arqueológicos.

1. Instituto de Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. México D.F.

2. Instituto de Xeoloxía. Universidade da Coruña. Campus de Zapateira, s.n. A Coruña.

3. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. México D.F.

Los fundamentos de operación del geo-radar están basados en la emisión de impulsos electromagnéticos de muy corta duración (1-20 ns) en la banda de frecuencias de VHF-UHF (habitualmente en un rango entre 10 MHz – 2 GHz). Cuando mediante una antena emisora se generan dichos impulsos, éstos en su trayectoria a través del subsuelo, pueden encontrarse con un cambio de sustrato o algún tipo de objeto enterrado u obstáculo; en definitiva, lo que detectan es un cambio en las propiedades eléctricas de los medios atravesados. Esto produce que parte de la energía sea reflejada de vuelta, mientras el resto continúa su camino. Disponiendo de una antena receptora en la superficie es posible detectar estas reflexiones, y con ellas generar una serie de registros espacio-tiempo de características similares a los registros clásicos de sismica de reflexión. Al ir desplazando las antenas sobre la superficie se van registrando el conjunto de reflexiones producidas, con lo que se obtiene una imagen bidimensional de la historia de reflexiones bajo la línea de desplazamiento de la antena.

Por su parte, las circunstancias que rodean a los enclaves arqueológicos enterrados suelen ser similares: los antiguos habitantes confiaban la solidez de sus construcciones a bloques de piedra más o menos trabajados, o simplemente piedras de dimensiones suficientes, con los que edificaban sus construcciones. Con el paso del tiempo algunas de estas construcciones se han ido desmoronando quedando como prueba de su existencia restos de sus estructuras, mejor o peor conservados, ocultos bajo la superficie del terreno por materiales depositados posteriormente que pueden haberlos cubierto desde algunos centímetros hasta varios metros. Con esto, en arqueología, el problema de la detección de estos restos con radar se puede plantear como el clásico contraste entre suelos (material de depósito situado sobre los restos) y rocas (agrupación de bolos y piedras que constituyen los restos en sí), cuyos parámetros electromagnéticos se diferencian lo suficiente como para garantizar la detección de la señal electromagnética emitida por el geo-radar tras su reflexión en esas estructuras *escondidas* en el subsuelo.

El hecho de que una mayoría de restos arqueológicos se encuentren enterrados cerca de la superficie, facilita las posibilidades de penetración del impulso electromagnético, favoreciendo la utilización de antenas de mayor frecuencia con la consiguiente mejora en la discriminación de los elementos del subsuelo. A esto hay que sumar la posibilidad de interpretación de resultados en tiempo real, los cuales pueden ser utilizados para facilitar enormemente las labores de excavación, al situar sobre el terreno las zonas donde se detecten los distintos elementos reflectores presentes en el subsuelo.

Históricamente, los primeros estudios de yacimientos arqueológicos mediante radar comienzan a publicarse a mediados de los años 80 (Hara, T.; Sakayama, T., 1984; Imai, T.; Sakayama, T.; Kanemori, T., 1987) que pueden considerarse como precursores en la aplicación del método a este campo. Ya en la década de los 90, se ha extendido el empleo del radar en España, lo que ha dado lugar a la aparición de algunas publicaciones sobre aplicaciones ar-

queológicas de esta técnica (Lorenzo, E.; Hernández, M.C., 1995; Lorenzo, E; Hernández, M.C., 1996).

ANTECEDENTES

Toda la región de la Huasteca Potosina es rica en vestigios arqueológicos, algunos de los cuales se mantienen ocultos en montículos cubiertos por material sedimentario y vegetación. Uno de estos montículos representa el objetivo de este trabajo, considerándose que debajo de los materiales que cubren esa estructura se encuentran restos arqueológicos similares, y del mismo origen, a los que aparecen en una zona arqueológica muy cercana, conocida como Ruinas del Consuelo. En concreto, nos estamos refiriendo a la zona de Tamohí, administrativamente enclavada en Tamuín, dentro del estado de San Luis Potosí.

En la región Huasteca se desarrollaron una amplia gama de culturas prehispánicas, dando la impresión de que se originó una mezcla de las mismas. Sus construcciones presentan signos de diversas fases de ocupación, que se manifiesta por la superposición de edificaciones. Con el paso del tiempo, estas construcciones se han ido deteriorando, siendo cubiertas por material sedimentario y por una espesa vegetación, pudiendo detectarse algunas de ellas a través de montículos a modo de irregularidades orográficas en el terreno. Estos montículos, de dimensiones variables, son muy numerosos en algunas áreas, relacionándose su presencia con zonas donde, se supone, existieron grandes concentraciones de habitantes.

Muy cercana a Tamohí se encuentra la zona arqueológica de las Ruinas del Consuelo, considerada como muy representativa de este tipo de situaciones. Las excavaciones realizadas en su momento en esta zona pusieron de manifiesto, entre otras construcciones, su elemento más representativo: una pirámide cuyas dimensiones aproximadas son 60 metros de largo, 40 metros de ancho y 5 metros de altura. Su arquitectura es en base a muros consolidados con piedras planas ligeramente inclinadas hacia su interior; se empleaba mortero de cal como recubrimiento exterior que también servía para fijar las piedras de los muros. Simultáneamente a la construcción de los muros de piedra, el interior de la pirámide va siendo rellenado con materiales sueltos de los alrededores (arenas, pequeñas piedras, etc.) a medida que la estructura va tomando altura. Las escalinatas muestran rampas laterales, con pisos de estuco realizados con una mezcla a base de arena y mortero de cal. Esta pirámide es de época Tolteca y excavaciones en su interior revelaron la presencia de la hoy famosa estatua conocida como «El Adolescente Huasteco».

OBJETIVOS

Resulta evidente que la región Huasteca presenta una gran riqueza arqueológica, parte de la cual no ha podido ser aún rescatada. Descubrir estos vesti-

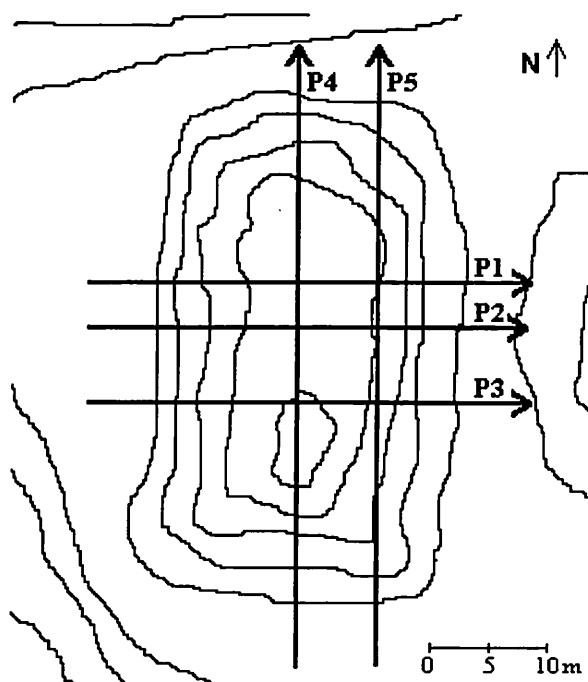


Fig. 1. Topografía y perfiles de la zona estudiada.

gios arqueológicos contribuiría a enriquecer los conocimientos que se tienen de las culturas que habitaron estas regiones. Se presume que en la zona de Tamohí se encuentran construcciones o pirámides de importancia, las cuales permanecen ocultas por sedimentos y vegetación. Estas edificaciones se identifican a través de montículos que se encuentran en la región, uno de los cuales se ha elegido para aplicar la técnica de geo-radar, con el fin de detectar rasgos que puedan considerarse de interés y, de ser así, ubicar los puntos en los que se puedan iniciar excavaciones con el fin de reducir costos en el trabajo de campo.

El montículo seleccionado presenta unas dimensiones de unos 50 metros de largo frente a unos 25 metros de ancho; su altura no es del todo constante en su zona central, variando ligeramente entre los 4 y 5 metros. Tenemos así una pequeña «meseta» cubierta por una espesa y alta vegetación, cuya representación esquemática en forma de curvas de nivel se puede apreciar en la figura 1.

TRABAJOS REALIZADOS

Una vez realizada una inspección *in situ* del área a investigar, se diseñó una red de perfiles que abarcara una superficie representativa del montículo.

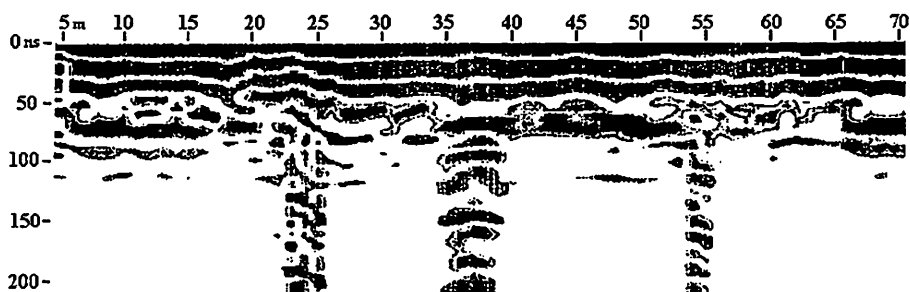


Fig. 2. Registro de radar de 65 m de largo realizado con las antenas de 50 MHz sobre el perfil P5 del plano de situación. Las anomalías de los metros 25 y 55 se asocian a los muros de la pirámide buscada.

Dicha red, compuesta por 5 perfiles de entre 50 y 70 metros de longitud, está representada así mismo en la figura 1. La espesura de la vegetación en el montículo recomendaba efectuar unas labores previas de limpieza y acondicionamiento del entorno, al menos en las líneas de desplazamiento de las antenas. Durante una jornada, cuatro personas se encargaron de efectuar la limpieza de cinco «senderos» de 1.5 metros de ancho y un total de 250 metros de longitud, que permitían un óptimo desplazamiento del instrumental necesario para la prospección.

El equipo de radar empleado en la investigación ha sido el modelo Pulse EKKO-IV de la casa Sensors & Software operando en modo biestático con antenas de 50 MHz de centro de frecuencias. La separación entre las antena emisora y la receptora fue fijada en 1 metro, siendo esta misma distancia la seleccionada como paso en el desplazamiento de este arreglo, dando como resultado una toma de datos por cada metro. Debido a lo accidentado del terreno, se efectuó el levantamiento topográfico para cada uno de los perfiles, integrándose la corrección topográfica en los cinco registros.

RESULTADOS OBTENIDOS

En la figura 2 es posible apreciar el registro de 65 metros obtenido sobre el perfil P5 del plano de situación, de dirección S-N, donde la escala de tiempo doble de reflexión fue fijada en 200 ns, con lo que se garantizaba una penetración de la señal en el terreno no inferior a los 5 metros. Se ha seleccionado este perfil en primer lugar, ya que se considera el más representativo de los obtenidos en la investigación realizada.

Dentro de la homogeneidad del registro destacan, sin lugar a dudas, tres anomalías en forma de reflexiones múltiples que se sitúan en los metros 25, 37 y 55. Este tipo de anomalías se corresponde habitualmente con la presencia de muros o murallas de mayor o menor tamaño enterradas en el subsuelo, y están sobradamente documentadas en la bibliografía sobre radar. En especial,

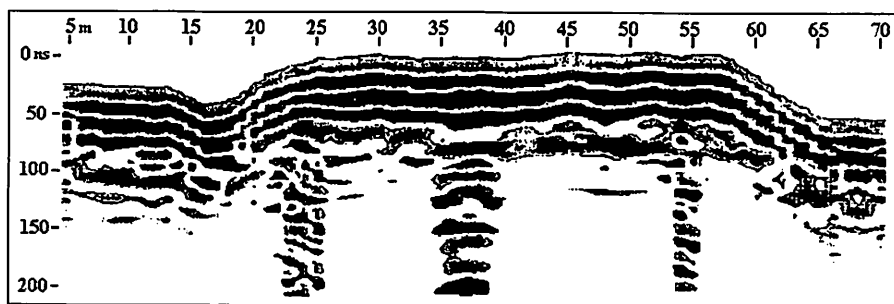


Fig. 3. Registro de radar de la figura 2 incorporando la corrección topográfica.

las reflexiones de los metros 25 y 55 se corresponden con bastante precisión con la parte superior de las rampas de ascenso al montículo, lo que reafirma la convicción de que podrían deberse a los muros de la pirámide buscada. Su anchura es del orden de 2-3 metros y su profundidad no superior a los 2 metros, aunque probablemente se encuentren más superficiales, dentro de la zona que queda oscurecida por la señal directa entre las antenas de 50 Mhz. La presencia de la pirámide parece tomar cuerpo si observamos este registro introduciéndole la correspondiente corrección topográfica, tal y como se aprecia en la figura 3.

El registro de la figura 3 parece indicar que la existencia del montículo está inevitablemente ligada a la presencia de dos potentes reflectores que actúan como soporte y dan altura al mismo. Con los antecedentes arqueológicos del entorno de la zona investigada y la evidencia gráfica del registro, podríamos encontrarnos ante las reflexiones provenientes de una pirámide enterrada similar a la situada en las Ruinas del Consuelo.

De distinta naturaleza parece ser el origen de la reflexión detectada a la altura del metro 37 del perfil, que se correspondería con una estructura de unos 4-5 metros de ancho y profundidad similar a los muros laterales. Sin información adicional resulta muy complicado afirmar a que se deben esas reflexiones, aunque su naturaleza es similar a la de los muros anteriormente descritos, por lo que podría tratarse de una estructura a base de piedras (por ejemplo otro muro o parte de una escalinata) o de un gran bloque de roca (una escultura de gran tamaño). Lo que resulta evidente es que se trata de un punto de especial interés para la realización de excavaciones arqueológicas y así se le indicó a los arqueólogos responsables de la zona.

La siguiente figura, número 4, recoge la información obtenida mediante el geo-radar en el perfil P4 del plano de situación, paralelo al perfil anteriormente analizado. En ella, se ha incorporado la corrección topográfica y de nuevo es posible apreciar un reflector a la altura del metro 25 que se correspondería con la continuación del detectado en la figura 3. A diferencia de ésta, no es posible apreciar ningún reflector en la parte final del montículo, lo que podría deberse a un desplome parcial de las paredes de la pirámide en esta zona. Esta justificación parece estar avalada por la propia orografía del montículo, ligera-

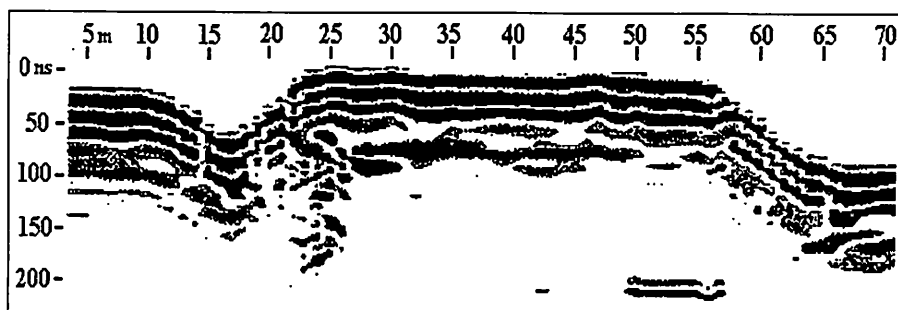


Fig. 4. Registro de radar de 65 m de largo realizado con las antenas de 50 MHz sobre el perfil P4 del plano de situación. La anomalía centrada en el metro 25 se asocia a uno de los muros de la pirámide buscada.

mente más elevado en su parte sur, lo que indicaría una estructura más sólida o más entera en esta zona.

Por último, en representación de los registros W-E, se ha seleccionado la figura 5, en la que aparece el perfil designado como P3 en el plano de situación. Tanto en él como en los perfiles P1 y P2, no es posible reconocer ningún tipo de reflexión que pudiera estar relacionada con la existencia de una pirámide escondida bajo la apariencia del montículo, lo cual siembra una razonable duda sobre su presencia, a pesar de las evidencias mostradas en las figuras 3 y 4. En coherencia con los razonamientos realizados al respecto del registro de la figura 4, la inexistencia de reflexiones podría deberse a un elevado grado de deterioro de los muros de la pirámide en sus caras este y oeste, que se manifestaría en el desplome parcial de esos muros por lo que su detección con el radar quedaría dificultada.

CONCLUSIONES

Mediante el empleo del geo-radar en la zona de Tamiohí fue posible detectar una serie de reflectores bastante superficiales que parecen estar relacionados con la presencia de una estructura enterrada, posiblemente los muros de una pirámide similar a la presente en las Ruinas del Consuelo. La discontinuidad de estos reflectores parece indicar un importante grado de deterioro en la estructura de la misma, si bien es posible reconocer una zona, la cara sur, donde los muros de contención de la pirámide parecen estar mejor conservados. En estos puntos es donde se ha recomendado dar comienzo a los trabajos de excavación, ya que en ellos se tiene gran confianza en encontrar restos de interés arqueológico a poca profundidad. Asimismo, se ha detectado un reflector de importantes dimensiones aparentemente aislado de los muros de la pirámide, por lo que también se situó en el terreno dado que hay antecedentes en la zona de aparición de esculturas o ídolos enterrados en el interior de otras pirámides. En el momento de la redacción de este trabajo, los trabajos de ex-

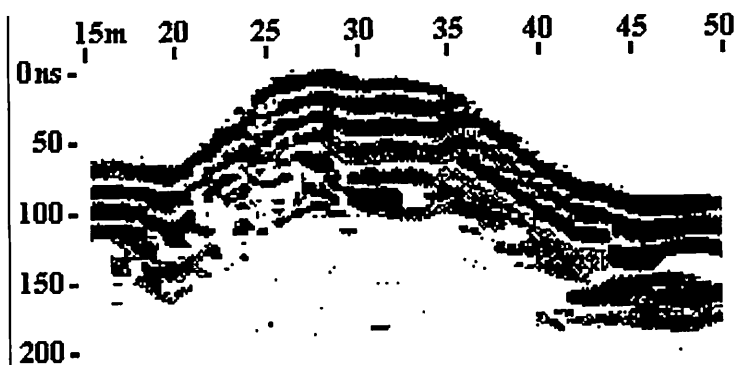


Fig. 5. Registro de radar de 35 m de largo realizado con las antenas de 50 MHz sobre el perfil P3 del plano de situación.

cavación se encuentran pendientes de los pertinentes permisos, los cuales se ven dificultados por la privacidad de la parcela en la que se ubica el montículo.

AGRADECIMIENTOS

Queremos mostrar nuestro sincero agradecimiento al Instituto de Geografía de la UNAM, propietario del radar Pulse EKKO IV empleado en esta investigación. Asimismo, a los arqueólogos Dña. Diana Zaragoza y D. Patricio Dávila, del Instituto Nacional de Antropología e Historia, por su participación en las tareas de campo y por toda la información adicional aportada. La participación de Enrique Lorenzo en esta investigación ha sido financiada a través del Programa Intercampus '96 del Instituto de Cooperación Iberoamericana.

BIBLIOGRAFÍA

HARA, T. y SAKAYAMA, T.

(1984) *The applicability of ground probing radar to site investigations*. OYO technical note, 38 p.

IMAI, T.; SAKAYAMA, T. y KANEMORI, T.

(1987) «Use of ground-probing radar and resistivity survey for archaeological investigations». *Geophysics*, v. 52, n.º 2, pp. 137-150.

LORENZO, E. y HERNÁNDEZ, M. C.

(1995) «Prospección geofísica en yacimientos arqueológicos con radar en España. Dos casos: Numancia y El Paular». *Física de la Tierra*, v. 7, pp. 193-205.

(1996) «La Alhambra y Numancia: dos ejemplos de utilización del geo-radar en España». *Supplément à la Revue d'Archéométrie*, (1996), pp. 19-23.

EL USO COMPLEMENTARIO DE LA RESISTIVIDAD Y LA PROSPECCIÓN MAGNÉTICA EN ARQUEOLOGÍA

por

César CARRERAS MONFORT¹ y David JORDAN²

La geofísica en Arqueología es una disciplina ya bien asentada con un lugar destacado en la práctica arqueológica europea. Pero a pesar de la experiencia obtenida por los prospectores en los últimos 50 años, la interpretación arqueológica de los resultados de las prospecciones geofísicas es todavía excesivamente imprecisa.

LA NATURALEZA DE LAS ANOMALÍAS ARQUEOLÓGICAS

Cada tipo de estructura arqueológica tiene sus correspondientes propiedades geofísicas —un muro de piedra enterrado tiene una alta resistencia eléctrica, mientras que un horno en el subsuelo presenta un campo magnético asociado— pero dentro de cada tipo de estructura la gama de propiedades es muy amplia. Además, no se detectan restos enterrados de forma aislada, sino por su contraste con respecto a la geología que los rodean. El contexto natural es muy variable y es nuestra desgracia que muchas de las variaciones en las propiedades geofísicas de los suelos aparecen a una escala similar a aquellas variaciones producto de los restos arqueológicos que buscamos. Aún peor, las anomalías detectadas por las técnicas de prospección —resistividad, georadar, teledetección térmica y otras— varían según la estación del año, puesto que las propiedades geofísicas del entorno se ven afectadas por la humedad y estructura del suelo.

Por lo tanto, los restos arqueológicos enterrados dan lugar a una variedad de anomalías geofísicas dependiendo del tipo de construcción original, su grado de preservación y el contexto natural en que se encuentran.

1. Dept. d'Humanitats, Universitat Oberta de Catalunya. e-mail: ccarreras@campus.voc.es.

2. Terra Nova Ltd. e-mail: terra@celtic.co.uk.

LA INTERPRETACIÓN DE PROSPECCIONES GEOFÍSICAS

Los prospectores geofísicos han aprendido a interpretar las anomalías arqueológicas al combinar su conocimiento sobre las propiedades que se esperan para cada tipo de estructura enterrada en relación con las características de los suelos. En la mayoría de casos, sin embargo, es la pauta de distribución producida por estas anomalías la que proporciona la clave para su interpretación. De este modo, una resistencia positiva de un metro de ancho hallada en el interior de una ciudad romana se interpreta como un muro enterrado, en parte debido a su forma, señal y amplitud de la anomalía pero, en parte, porque forma parte de una red regular de anomalías que puede interpretarse como el perfil de edificios enterrados.

Este tipo de interpretación a partir del reconocimiento de una pauta de distribución tiene sus limitaciones y normalmente depende de la experiencia del prospector. Puede ser imposible de identificar una pauta de distribución coherente cuando:

- el yacimiento es complejo y sus alineaciones no se pueden interpretar como tales (p.e. un yacimiento con múltiples fases),
- las anomalías se hallan muy agrupadas,
- los restos enterrados están mal preservados y las anomalías aparecen incompletas,
- la complejidad de las anomalías de los suelos y el «ruido» del instrumento esconde las débiles señales dadas por los restos arqueológicos

CÓMO SUPERAR LAS LIMITACIONES EN LOS DATOS DE LA PROSPECCIÓN

Una respuesta sería incrementar la densidad de lecturas geofísicas para hacer que las anomalías arqueológicas sean más claras y separar la señal de cada una de ellas y del «ruido» no deseado. Pero cuando una anomalía geofísica débil producida por restos enterrados coincide con anomalías naturales, una densidad mayor de lecturas puede simplemente incrementar el efecto de ambas sin separarlas, por lo tanto manteniendo la confusión entre las distintas señales.

Existe una amplia variedad de técnicas geofísicas que han demostrado que pueden generar información arqueológica muy útil. Todas ellas padecen los mismos problemas. En general, se acostumbra a escoger sólo una única técnica para prospectar un yacimiento, de acuerdo con el tipo de restos enterrados previstos. Las dos técnicas más comunes empleadas —resistividad y magnetometría— no pueden detectar por sí solas todos los restos importantes de un yacimiento, debido a la gran variedad de posibles restos, algunos de ellos visibles sólo por una de estas técnicas. La magnetometría, por ejemplo, se ve incapaz de detectar un muro enterrado de calcárea, o bien la resistividad no puede reconocer la presencia de un tesoro metálico prehistórico. Por lo tanto, un yaci-

miento que pudiera contener ambos restos arqueológicos no sería correctamente interpretado sin el uso de ambas técnicas —resistividad y magnetometría—.

COMBINACIÓN DE PROSPECCIONES GEOFÍSICAS

La experiencia de campo acumulada por el equipo de Terra Nova en yacimientos españoles en los últimos 17 años, ha mostrado que, en la mayoría de circunstancias la combinación de estas dos diferentes técnicas geofísicas pueden superar las deficiencias inherentes a cada una de ellas. La interpretación es por lo tanto mucho más precisa y fiable.

La combinación de resistividad y magnetometría es especialmente atractiva porque las dos técnicas detectan propiedades muy diferentes del suelo, o de restos enterrados —y así el contraste entre ellas es mayor. Además, ambas técnicas obtienen los datos con rapidez y se pueden interpretar relativamente bien.

LA COMBINACIÓN DE PROSPECCIONES GEOFÍSICAS TIENE UNA SERIE DE VENTAJAS

Las técnicas detectan propiedades muy diferentes y por consiguiente amplían la gama de restos arqueológicos que pueden ser detectados.

La experiencia muestra que una técnica a menudo es capaz de detectar aquellas partes de una estructura que la otra no es capaz, lo cual permite a cada una corroborar y extender la evidencia proporcionada por la otra. Cada técnica se ve afectada de forma distinta por el contraste de la variación geofísica entre arqueología y suelo.

En aquel lugar en que el número de anomalías superpuestas hace que los resultados de las prospecciones sean difíciles de interpretar, la adición de una segunda prospección geofísica, que sea más selectiva en la estructura detectada, puede ayudar a distinguir los restos enterrados y clarificar su interpretación.

Cada técnica geofísica responde de forma diferente a la geometría de una estructura enterrada. Por consiguiente, la combinación de los resultados obtenidos por distintas técnicas de prospección pueden clarificar la forma, el tamaño y localización de los restos enterrados.

LA COMBINACIÓN DE PROSPECCIONES PARA DEFINIR FIRMAS GEOFÍSICAS

Pero aún podemos ir más allá al combinar datos de prospecciones geofísicas. Una estructura arqueológica enterrada puede ser vista como portadora de una «firma» geofísica —el efecto combinado de su estructura sobre todas las propiedades geofísicas de su entorno. Cada tipo de estructura enterrada —muros de calcárea, cloacas construidas con ladrillo, fosos rellenos de arcilla etc.— tienen una firma distintiva, ya que si algunas propiedades pueden parecer simi-

lares en una dimensión geofísica, por ejemplo al usar sólo una técnica, tal vez pueden ser bastante diferentes de acuerdo a otra dimensión y, por lo tanto, ser interpretadas claramente.

De ese modo, por ejemplo, un muro de calcárea y un muro de ladrillo pueden producir idénticos resultados en una resistividad, ya que sus propiedades de resistividad eléctrica son similares, pero se pueden perfectamente diferenciar a partir de una prospección magnética puesto que sólo el muro de ladrillo genera anomalías magnéticas positivas. Al añadir más dimensiones geofísicas se pueden separar las estructuras más fácilmente al refinar sus firmas así como al completar las áreas de indefinición y compensar por el «ruido». Un mayor número de prospecciones nos permite detectar cada vez más las diferencias sutiles entre las estructuras enterradas.

La combinación de los datos proporcionados por distintos tipos de prospección no sería posible sin la ayuda de unos sofisticados sistemas informáticos conocidos como SIG o Sistemas de Información Geográficos. Estos complejos sistemas facilitan el análisis individualizado de los resultados de una prospección, y permiten mejorar su definición, al emplear adecuadamente una serie de filtros que facilitan la distinción entre los restos arqueológicos y los posibles «ruidos» de fondo producidos por la geología del yacimiento. Sin embargo, la mayor aportación de estos sistemas se halla en la posibilidad de combinar los valores obtenidos para cada punto del yacimiento a partir de los distintos mapas resultantes de cada tipo de prospección. En otras palabras, se pueden realizar operaciones matemáticas (p.e. sumas, restas, multiplicaciones etc.) entre los valores obtenidos por la resistividad y la magnetometría para cada coordenada, y de ese modo se puede reconocer la «firma» completa de los restos arqueológicos enterrados.

INVESTIGACIÓN FUTURA

Terra Nova continuará la investigación de las técnicas en la práctica para mejorar su calidad y refinar la interpretación de las prospecciones arqueológicas. Existe un campo para utilizar técnicas —como la prospección electromagnética Slingram— para definir firmas geofísicas al medir varias propiedades geofísicas al mismo tiempo. De acuerdo con nuestra evidencia actual, futuros estudios empíricos que aporten datos del georadar y teledetección, pueden resultar útiles en este campo. En este sentido, la aportación de los sistemas de información geográfica resultarán clave para estimar la idoneidad de cada método y la complementariedad entre ellos.

Terra Nova seguirá con sus estudios de campo y de laboratorio en un intento de clarificar la estructura geofísica de los restos arqueológicos. Nuestros modelos actuales de comportamiento geofísico de los yacimientos arqueológicos resulta todavía muy ambiguos —tal vez demasiado para representar adecuadamente la realidad— y un marco teórico redefinido para la arqueología geofísica puede deparar una investigación más completa en las tan complejas y confusas relaciones entre restos arqueológicos y el suelo del entorno. Esto pro-

porcionaría una mayor comprensión sobre la cual se debería desarrollar la interpretación de las firmas geofísicas.

ITÁLICA

PROSPECCIÓN DE RESISTENCIA ELÉCTRICA

Esta prospección ha revelado la mayor parte del urbanismo de la ciudad romana. La imagen de la resistividad a la izquierda muestra los muros enterrados, como líneas de colores claros definidos por altas resistencias, lo cual ha permitido reconocer edificios previamente desconocidos. Entre los descubrimientos más espectaculares está un gran gimnasio y una gran muralla interior, con sus visibles bastiones, que posiblemente fue construida para defender un área reducida de la ciudad que fue ocupada en el Bajo Imperio. La imagen además contiene claves para reconocer la calidad y profundidad de los restos así como de las áreas erosionadas.

PROSPECCIÓN MAGNÉTICA

Sólo algunas de estas estructuras enterradas han sido detectadas por la prospección magnética. Las excavaciones han confirmado que las anomalías magnéticas lineales corresponden a construcciones de ladrillo que incluyen algunos de los mayores edificios públicos y las alcantarillas. La gran muralla Bajo Imperial es, sin embargo, invisible sugiriendo que fue construido de calcaria. Las áreas erosionadas se distinguen claramente en donde el campo magnético local es estable debido a la ausencia de cerámicas. Las concentraciones de *tegulae*, por contra, aparecen con gran fuerza, aunque como perturbaciones magnéticas dispersas.

AMPURIAS

Los edificios y calles de la Ampurias romana fueron en su mayoría contruidos de calcaria. Las excavaciones han puesto al descubierto los muros bien definidos de las *insulae* incrustados en un suelo arenoso que contiene grandes cantidades de piedra y cerámica —mayoritariamente fragmentos de ánfora y *tegulae*.

RESISTIVIDAD

Las calles, cisternas y alcantarillas de la ciudad aparecen claramente en la imagen de la resistividad, pero los muros más pequeños a veces apenas se distinguen y son discontinuos. La complejidad de los restos además hace difícil

la identificación de las estructuras enterradas a partir sólo de la imagen de la resistividad. En otros lugares la presencia de perturbaciones modernas o cascos de edificios caídos oscurece detalles importantes.

MAGNETOMETRÍA

La imagen magnética de las mismas áreas muestra anomalías débiles, negativas y lineales en donde aparecían anomalías positivas en la resistividad sobre muros enterrados. Entre estas líneas, parece que el suelo natural esté ligeramente magnetizado, y sea magnéticamente susceptible, por los abundantes fragmentos de cerámica que hay en él —cada uno ellos tiene su propio campo magnético. Parece que los muros de calcárea son vistos como anomalías negativas porque desplazan un volumen del suelo magnético.

Las anomalías magnéticas sufren distintas perturbaciones y discontinuidades que las producidas por la resistividad y, por consiguiente, clarifican la imagen de los restos enterrados. Éstos no están oscurecidos, por ejemplo, por los cascos que se superponen a los muros enterrados y corroboran de este modo una evidencia de la resistividad que de forma poco clara reconocía restos de pequeños muros.

PEAKIRK TUMULI

Estos túmulos, en el Este de Inglaterra, fueron construidos con un foso interior y otro exterior rodeados por un terraplén circular. Dentro se localizaba una inhumación. Cada una de las cuatro prospecciones realizadas —fotografía aérea, teledetección térmica, magnetometría y resistividad— añaden una información única sobre la construcción. Con una única de estas imágenes no habría sido posible una completa imagen e interpretación del yacimiento.

FOTOGRAFÍA AÉREA Y TELEDETECCIÓN TÉRMICA

Los fosos se pueden observar en la fotografía aérea como dos líneas más oscuras, porque retienen mejor el agua que el suelo que los rodea. Esto a permitido que el trigo que se encuentra encima de los fosos no haya madurado y se mantenga su color verde oscuro mientras que el resto del campo presente un trigo, ya maduro, de color amarillo claro. Estas plantas verdes de trigo también transpiran agua —que enfría sus hojas— y pueden por lo tanto ser vistas, aunque mal definidas, en la imagen térmica como círculos fríos. Entre ellos, sin embargo, la imagen térmica detecta un círculo más cálido que es producido por el suelo más seco del terraplén interior —una distinción tan sutil para ser observada en la fotografía aérea.

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

La imagen de la resistividad muestra que los suelos más húmedos del foso exterior y el suelo más seco del terraplén interior se corresponden con anomalías negativas y positivas respectivamente. La imagen del magnetómetro identifica al foso exterior como una fuerte anomalía positiva, y únicamente una fuerte pero localizada anomalía debido a las cerámicas presentes en el enterramiento del área central.

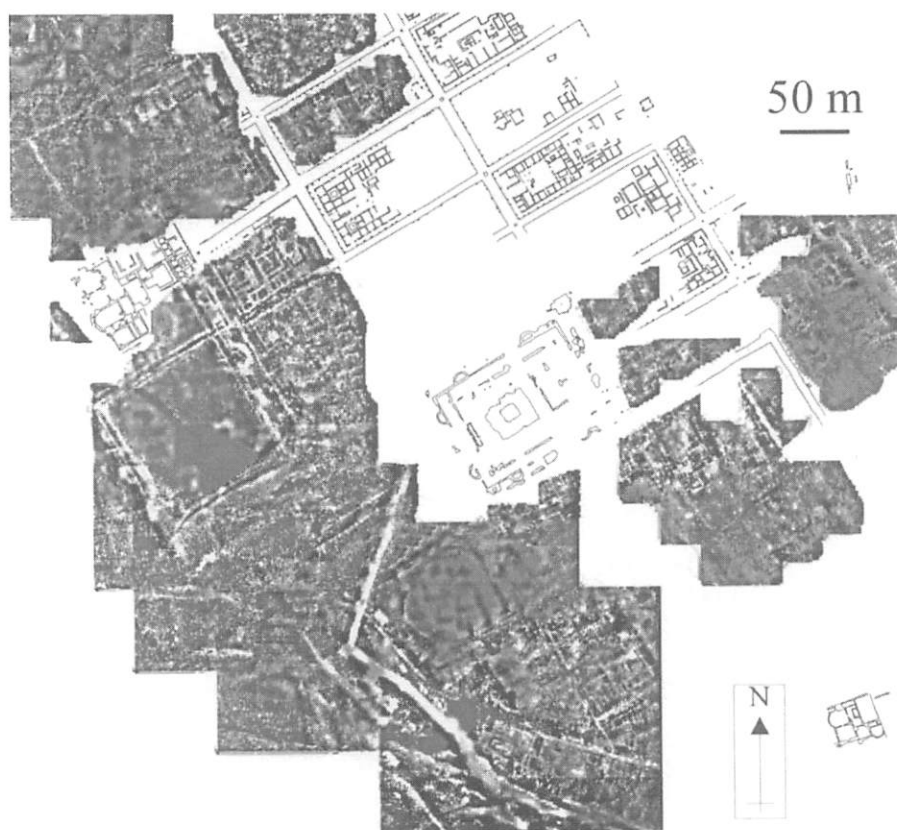


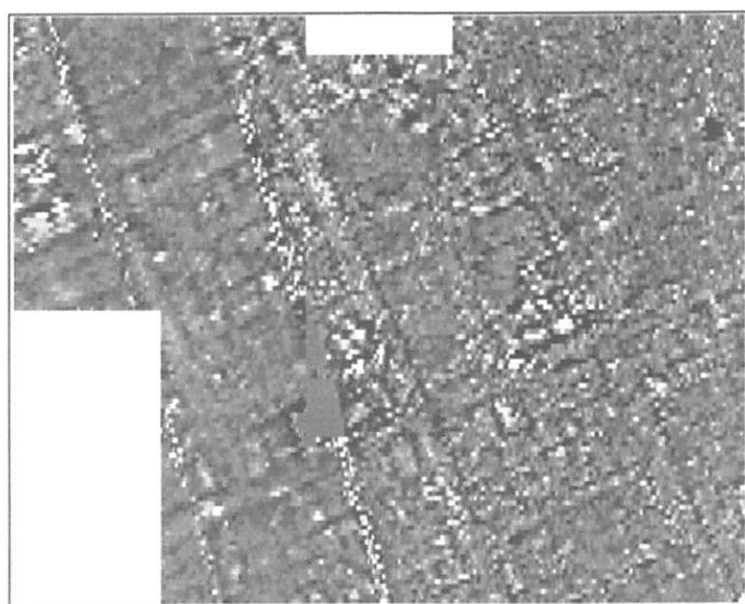
Fig. 1. Resultados originales de la prospección eléctrica de la ciudad romana de Itálica —los colores claros indican las resistencias más altas.

APÉNDICE						
	Momento cronocultural	Material datado	Código laboratorio	Fecha radiocarbónica (años BP)		
				R	s(R)	
Prehistóricos	Talaiótico tardío	Huesos fauna (*)	UBAR-423	2390	60	Nicolás y Poncela
	Talaiótico	Carbón	HAR-2891	2570	100	Waldren, 1986
	Pretalaiótico/Talaiótico	Huesos humanos	UBAR-427	2650	290	Mestres, 1996
	Pretalaiótico/Talaiótico	Huesos humanos	UBAR-425	2760	60	Mestres, 1996
	Pretalaiótico/Talaiótico	Húmero humano	OxA-5812	2750	70	Hedges <i>et al.</i> , 1997
	Pretalaiótico/Talaiótico	Húmero humano	OxA-5813	2770	65	Hedges <i>et al.</i> , 1997
	Pretalaiótico/Talaiótico	Húmero humano	OxA-5814	2880	65	Hedges <i>et al.</i> , 1997
	Pretalaiótico/Talaiótico	Húmero humano	OxA-5815	2900	70	Hedges <i>et al.</i> , 1997
	Pretalaiótico/Talaiótico	Húmero humano	OxA-5816	2770	65	Hedges <i>et al.</i> , 1997
	Pretalaiótico/Talaiótico	Húmero humano	OxA-5817	2860	65	Hedges <i>et al.</i> , 1997
V. Prehistórico	Pretalaiótico	Huesos humanos	UBAR-414	3470	60	Mestres, 1996
	Talaiótico tardío	Madera	IRPA-1021	2290	40	Van Strydonk, 1992
	Pretalaiótico/Talaiótico	Huesos humanos	IRPA-1046A	2650	60	Flaquer, 1910;
	Pretalaiótico/Talaiótico	Huesos humanos	IRPA-1046B	2500	60	Flaquer, 1910;
	Pretalaiótico/Talaiótico	Huesos humanos	UBAR-424	2860	50	Flaquer, 1910;
	Pretalaiótico/Talaiótico	Fémur humano	CSIC-834	2520	40	Flaquer, 1910;
	Talaiótico tardío	Carbón	IRPA-1022	2350	50	Van Strydonk, 1992
	Talaiótico	Madera	OxA-5772	2810	65	Hedges <i>et al.</i> , 1997
	Talaiótico	Cabellos humanos	OxA-5773	2445	50	Hedges <i>et al.</i> , 1997
	Previo a ocupación humana	Huesos de Myotragus	KIK-398/UIC-3740	10020	50	Van Strydonk, 1992
Historia reciente	Talaiótico	Carbón	KIK-517/UIC-4152	2495	40	Van Strydonk, 1992
	Talaiótico	Carbón	KIK-515/UIC-4151	575	40	Van Strydonk, 1992
Arqueología clásica	Talaiótico	Carbón	KIK-596/UIC-4740	320	40	Van Strydonk, 1992
	Pretalaiótico/Talaiótico	Huesos de cabra	KIK-401/UIC-3743	2770	35	Van Strydonk, 1992
	Pretalaiótico/Talaiótico	Huesos humanos	KIK-397/UIC-3739	3480	50	Van Strydonk, 1992
	Talaiótico tardío	Huesos humanos	UBAR-430	2040	110	Mestres, 1996
	Pretalaiótico/Talaiótico	Huesos humanos	UBAR-428	2610	100	Mestres, 1996
	Pretalaiótico	Huesos humanos	UBAR-413	3300	60	Nicolás y Molero
	<i>Indeterminado</i>	Fémur humano	KIK-592/UIC-4742	2470	30	Van Strydonk, 1992
	Talaiótico	Huesos humanos	UBAR-415	2730	60	Nicolás y Molero
	Talaiótico	Huesos humanos (*)	UBAR-416	2830	60	Nicolás y Molero
	Talaiótico	Huesos humanos (*)	UBAR-417	2770	60	Nicolás y Molero
Medievales	Talaiótico	Tierra carbonosa	UBAR-418	4580	60	Nicolás y Molero
Prehistóricos	Pretalaiótico/Talaiótico	Tierra carbonosa	UBAR-419	3370	80	Nicolás y Molero
	Pretalaiótico	Fémur humano	OxA-5806	3415	75	Hedges <i>et al.</i> , 1997
	Pretalaiótico	Fémur humano	OxA-5807	3405	60	Hedges <i>et al.</i> , 1997
	Pretalaiótico	Fémur humano	OxA-5808	3410	60	Hedges <i>et al.</i> , 1997
	Pretalaiótico	Fémur humano	OxA-5809	3460	65	Hedges <i>et al.</i> , 1997
	Pretalaiótico	Fémur humano	OxA-5810	3280	65	Hedges <i>et al.</i> , 1997
	Pretalaiótico	Fémur humano	OxA-5811	3425	65	Hedges <i>et al.</i> , 1997
Arqueología clásica	Talaiótico tardío	Huesos humanos (*)	UBAR-420	2250	50	Nicolás y Poncela
Arqueología clásica	Talaiótico tardío	Huesos humanos (*)	UBAR-421	2170	50	Nicolás y Poncela
Arqueología clásica	Talaiótico tardío	Huesos humanos (*)	UBAR-422	1630	50	Nicolás y Poncela
Arqueología clásica	Talaiótico tardío	Carbón	QL-145	2450	40	Alonso <i>et al.</i> , 1997
Arqueología clásica	Talaiótico tardío	Carbonatos	QL-146	2030	40	Alonso <i>et al.</i> , 1997
	Talaiótico	Huesos fauna	KIK-512/UIC-4149	2040	50	Van Strydonk, 1992
	Talaiótico	Huesos fauna	KIK-513/UIC-4150	2520	50	Van Strydonk, 1992
	Medieval	Huesos humanos	CSIC-40	810	110	Alonso <i>et al.</i> , 1997
	Talaiótico	Madera	CSIC-680	2750	50	Alonso, 1997
	Talaiótico	Carbón	CSIC-739	2710	40	Plantalamor, 1997
	Talaiótico	Carbón	CSIC-738	2680	40	Plantalamor, 1997
	Talaiótico	Carbón	CSIC-737	2620	40	Plantalamor, 1997
	Pretalaiótico/Talaiótico	Huesos humanos	UBAR-429	2260	50	Mestres, 1996
	Pretalaiótico	Huesos humanos	UBAR-412	3170	70	Nicolás y Molero
	Pretalaiótico/Talaiótico		HAR-3413	2910	100	Waldren, 1992
	Pretalaiótico/Talaiótico	Carbón	HAR-2909	2770	100	Waldren, 1986
	Pretalaiótico	Semillas cereal	QL-1433	3030	70	Waldren, 1986
	Pretalaiótico	Carbón	HAR-2908a	2970	70	Waldren, 1986
	Pretalaiótico	Carbón	HAR-2908b	3020	60	Waldren, 1986
	Pretalaiótico	Semillas cereal	BM-1697	2860	45	Burleigh <i>et al.</i> , 1997
	Pretalaiótico	Semillas cereal	KIK-30/UIC-1263	3230	60	Waldren, 1992
	Talaiótico	Huesos de fauna	QL-1089	2840	30	Alonso <i>et al.</i> , 1997
	Talaiótico	Carbón	QL-1165	2710	50	Waldren, 1986
	Talaiótico	Huesos de fauna	CSIC-142	2180	50	Alonso <i>et al.</i> , 1997
	Talaiótico tardío	Carbón	BM-2003R	2360	100	Waldren, 1986;
	Talaiótico tardío	Carbón	BM-2004R	2180	100	Waldren, 1986;
	Romano	Carbón	BM-2005R	1960	120	Waldren, 1986;
	Talaiótico	Carbón	CSIC-?	2100	45	Waldren, 1986
	Romano	Carbón	QL-1090	1800	30	Alonso <i>et al.</i> , 1997
	Talaiótico	Huesos de fauna	QL-1164	2830	40	Alonso <i>et al.</i> , 1997
	<i>Indeterminado</i>	Carbón	IRPA-781	2020	70	Dauchot-Dehondt
	<i>Indeterminado</i>	Carbón	IRPA-782	2400	60	Dauchot-Dehondt
	Romano	Carbón	CSIC-606	2020	50	Alonso, 1997
	Romano	Carbón	CSIC-501	1780	60	Alonso, 1997
	Romano	Huesos de cápridos	CSIC-502	1920	40	Alonso, 1997
	Talaiótico	Huesos de fauna	UBAR-426	3020	50	Mestres, 1996
	Momento cronocultural	Material datado	Código laboratorio	Fecha radiocarbónica (años BP)		
				R	s(R)	

Bibliografía	Observaciones	
(e/p); Mestres, 1996		1
Plantalamor, 1991		2
	Excluida por defecto de precisión	3
		4
966; Plantalamor y Sastre, 1991		5
966; Plantalamor y Sastre, 1991		6
966; Plantalamor y Sastre, 1991		7
966; Plantalamor y Sastre, 1991		8
966; Plantalamor y Sastre, 1991		9
966; Plantalamor y Sastre, 1991		10
		11
<i>t al.</i> , 1995		12
Veny, 1974, 1982; Van Strydonk <i>et al.</i> , 1995	Fecha reiterativa; sustituida por IRPA-1046: 2575±40	13
Veny, 1974, 1982; Van Strydonk <i>et al.</i> , 1995	Fecha reiterativa; sustituida por IRPA-1046: 2575±40	14
Veny, 1974, 1982; Mestres, 1996		15
Veny, 1974, 1982; Alonso, 1997		16
<i>t al.</i> , 1995		17
996		18
996		19
1997	Excluida. Momento cronocultural fuera del objeto de estudio	20
1997		21
1997	Excluida por defecto de asociación	22
1997	Excluida por defecto de asociación	23
1997		24
1997		25
		26
		27
, 1985; Gornés <i>et al.</i> , 1992; Mestres, 1996		28
1997		29
, 1985; Gornés <i>et al.</i> , 1992; Mestres, 1996		30
, 1985; Gornés <i>et al.</i> , 1992; Mestres, 1996		31
, 1985; Gornés <i>et al.</i> , 1992; Mestres, 1996		32
, 1985; Gornés <i>et al.</i> , 1992; Mestres, 1996	Excluida por defecto de sincronía	33
, 1985; Gornés <i>et al.</i> , 1992; Mestres, 1996	Excluida por defecto de sincronía	34
996; Plantalamor, 1976/77		35
996; Plantalamor, 1976/77		36
996; Plantalamor, 1976/77		37
996; Plantalamor, 1976/77		38
996; Plantalamor, 1976/77		39
996; Plantalamor, 1976/77		40
(e/p)		41
(e/p)		42
(e/p)	Excluida por defecto de asociación	43
978; Waldren, 1986		44
978; Waldren, 1986	Excluida por defecto de sincronía	45
1997	Excluida por defecto de sincronía	46
1997		47
978	Excluida. Momento cronocultural fuera del objeto de estudio	48
		49
91; Castro <i>et al.</i> , 1997; Alonso, 1997	Fecha reiterativa; sustituida por CSIC-738/739: 2695±30	50
91; Castro <i>et al.</i> , 1997; Alonso, 1997	Fecha reiterativa; sustituida por CSIC-738/739: 2695±30	51
91; Castro <i>et al.</i> , 1997; Alonso, 1997		52
		53
, 1985; Gornés <i>et al.</i> , 1992; Mestres, 1996		54
		55
		56
1992		57
1992	Fecha reiterativa; sustituida por HAR-2908: 3000±45	58
1992	Fecha reiterativa; sustituida por HAR-2908: 3000±45	59
982; Waldren, 1986; 1992; Bowman <i>et al.</i> , 1990	Excluida por defecto de exactitud	60
Van Strydonk <i>et al.</i> , 1995		61
98; Fernández-Miranda, 1978; Waldren, 1986; 1992		62
1992		63
98; Fernández-Miranda, 1978; Waldren, 1986; 1992		64
1992; Burleigh <i>et al.</i> , 1983; Bowman <i>et al.</i> , 1990		65
1992; Burleigh <i>et al.</i> , 1983; Bowman <i>et al.</i> , 1990		66
1992; Burleigh <i>et al.</i> , 1983; Bowman <i>et al.</i> , 1990	Excluida. Momento cronocultural fuera del objeto de estudio	67
1992		68
978; Fernández-Miranda, 1978	Excluida. Momento cronocultural fuera del objeto de estudio	69
98; Fernández-Miranda, 1978; Waldren, 1986; 1992		70
n <i>et al.</i> , 1989	Excluida por desconocimiento del contexto	71
n <i>et al.</i> , 1989	Excluida por desconocimiento del contexto	72
	Excluida. Momento cronocultural fuera del objeto de estudio	73
	Excluida. Momento cronocultural fuera del objeto de estudio	74
	Excluida. Momento cronocultural fuera del objeto de estudio	75
		76
Bibliografía	Observaciones	

	Yacimiento	Municipio	Contexto arqueológico
1	Algaiarens-20	Ciutadella	Grupo de enterramientos individuales. Ofrendas alimentarias en vasos cerámicos
2	Binicalaf	Maó	Abandono casa rectangular con hogar adosada al talayot
3	Binigafull	Ciutadella	Hipogeo de planta circular. Botones con perforación en «V»
4	Binimainut	Maó	Naveta de planta absidal y fachada cóncava
5	Binipati Nou	Ciutadella	Naveta de planta absidal y fachada cóncava
6	Binipati Nou	Ciutadella	Naveta de planta absidal y fachada cóncava
7	Binipati Nou	Ciutadella	Naveta de planta absidal y fachada cóncava
8	Binipati Nou	Ciutadella	Naveta de planta absidal y fachada cóncava
9	Binipati Nou	Ciutadella	Naveta de planta absidal y fachada cóncava
10	Binipati Nou	Ciutadella	Naveta de planta absidal y fachada cóncava
11	Cala en Caldés	Maó	Cavidad natural funeraria. Cerámica pretalaiótica y botones perforados en «V»
12	Cales Coves	Alaior	Hipogeo N.º 21. Cerámica talaiótica y «taps» de hueso
13	Cotaina	Alaior	Naveta de planta ovalada
14	Cotaina	Alaior	Naveta de planta ovalada
15	Cotaina	Alaior	Naveta de planta ovalada
16	Cotaina	Alaior	Naveta de planta ovalada
17	Cova dels Coloms	Es Migjorn	Cueva natural-santuario. Cuerno de bronce de producción local
18	Cova des Càrritx	Ciutadella	Cueva sepulcral-santuario. Depósito ritual
19	Cova des Càrritx	Ciutadella	Cueva sepulcral-santuario. Depósito ritual
20	Cova des Tancats	Ciutadella	Cueva natural. Restos de Myotragus en superficie
21	Cova des Tancats	Ciutadella	Cueva natural. Carbón, cerámica talaiótica y huesos de Myotragus en superficie
22	Cova des Tancats	Ciutadella	Cueva natural. Hogar superficial
23	Cova des Tancats	Ciutadella	Cueva natural. Carbón posiblemente asociado a extracción de arcilla para elaboración de cerámica
24	Cova des Bouer	Es Migjorn	Cueva natural. Zona anterior
25	Cova des Bouer	Es Migjorn	Cueva natural. Fondo de la cueva. Cerámica pretalaiótica y talaiótica
26	Coves d'Addaia	Mercadal	Necrópolis con hipogeos y cuevas. Cerámica talaiótica
27	Es Grau	Maó	Cueva funeraria. Cerámica pretalaiótica y talaiótica
28	Ferragut Nou	Mercadal	Sepulcro megalítico. Cerámica pretalaiótica
29	Forma Nou	Maó	Huesos en concreción calcárea junto con huesos de cabra y de Myotragus
30	Mongofre Nou	Maó	Cueva natural con muro de contención. Nivel funerario descontextualizado
31	Mongofre Nou	Maó	Cueva natural con muro de contención. Nivel funerario, Sector C-2
32	Mongofre Nou	Maó	Cueva natural con muro de contención. Nivel funerario, Sector B-3
33	Mongofre Nou	Maó	Cueva natural con muro de contención. Nivel con cenizas por debajo de inhumaciones
34	Mongofre Nou	Maó	Cueva natural con muro de contención. Nivel con cenizas sobre el nivel pretalaiótico
35	Montplè	Maó	Sepulcro megalítico de planta rectangular
36	Montplè	Maó	Sepulcro megalítico de planta rectangular
37	Montplè	Maó	Sepulcro megalítico de planta rectangular
38	Montplè	Maó	Sepulcro megalítico de planta rectangular
39	Montplè	Maó	Sepulcro megalítico de planta rectangular
40	Montplè	Maó	Sepulcro megalítico de planta rectangular
41	S'Embarcador-1	Mercadal	Grupo de enterramientos individuales. Ofrendas alimentarias y cerámica talaiótica
42	S'Embarcador-2	Mercadal	Grupo de enterramientos individuales. Ofrendas alimentarias y cerámica talaiótica
43	S'Embarcador-3	Mercadal	Grupo de enterramientos individuales. Ofrendas alimentarias y cerámica talaiótica
44	Sa Regana dels Cans	Alaior	Hipogeos con enterramiento en cal. Objetos de bronce, hierro y cerámica talaiótica
45	Sa Regana dels Cans	Alaior	Hipogeos con enterramiento en cal. Objetos de bronce, hierro y cerámica talaiótica
46	Sa Talaia	Ciutadella	Horno de cerámica talaiótica. Animales domésticos
47	Sa Talaia de Torre Petxina	Ciutadella	Horno de cerámica talaiótica. Animales domésticos
48	Sanitja	Mercadal	Tumba medieval
49	Sant Agustí	Es Migjorn	Construcción del talaiot. Vigas que sostienen el techo de la cámara.
50	So Na Caçana	Alaior	Santuario. Estructura 4, muro adosado fachada. Abandono
51	So Na Caçana	Alaior	Santuario. Estructura 4, muro adosado fachada. Abandono
52	So Na Caçana	Alaior	Santuario. Zona absidal monumento 3A
53	Son Àngel	Ciutadella	Cavidad natural funeraria
54	Son Ermità	Ferrieres	Sepulcro megalítico de planta circular
55	Son Morell	Ciutadella	Naveta de planta absidal con fachada cóncava
56	Son Morell	Ciutadella	Naveta de planta absidal con fachada cóncava
57	Torralba d'en Salord	Alaior	Estructura subyacente a talaiot. Vaso pretalaiótico
58	Torralba d'en Salord	Alaior	Estructura subyacente a talaiot
59	Torralba d'en Salord	Alaior	Estructura subyacente a talaiot
60	Torralba d'en Salord	Alaior	Estructura subyacente a talaiot
61	Torralba d'en Salord	Alaior	Estructura subyacente a talaiot
62	Torralba d'en Salord	Alaior	Recinto taula. Nivel basal sobre roca
63	Torralba d'en Salord	Alaior	Estructura talaiótica en el entorno de la taula
64	Torralba d'en Salord	Alaior	Recinto taula. Nivel inferior. Ocupación
65	Torralba d'en Salord	Alaior	Recinto taula. Nivel IV inferior. Artefactos clásicos. Ocupación
66	Torralba d'en Salord	Alaior	Recinto taula. Nivel IV superior. Fin de ocupación
67	Torralba d'en Salord	Alaior	Recinto taula. Nivel III. Abandono
68	Torralba d'en Salord	Alaior	Recinto taula. Nivel de ocupación
69	Torralba d'en Salord	Alaior	Recinto taula. Sobre nivel II, romano. Abandono construcción
70	Torralba d'en Salord	Alaior	Sur recinto taula. Construcción arrasada por constr. rec. taula
71	Torralba d'en Salord	Alaior	Indeterminado
72	Torralba d'en Salord	Alaior	Indeterminado
73	Torralba d'en Salord	Alaior	Silo republicano romano exterior talaiot. Ánforas Dressel I
74	Torralba d'en Salord	Alaior	Hogar. Restos de huesos de carácter ritual. Ánforas
75	Torralba d'en Salord	Alaior	Mismo nivel que la anterior pero fuera del hogar
76	Torre del Ram	Ciutadella	Casa de planta absidal y hogar central. Cerámica talaiótica
	Yacimiento	Municipio	Contexto arqueológico

(*) Mezcla de huesos pertenecientes a un solo individuo.



< 60 m >



Figuras 2 y 3. Resultados de la magnetometría en los bloques de la zona sur de Ampurias y su interpretación.



C. S. I. C.



INSTITUCIÓN «FERNANDO EL CATÓLICO»



EXCMA. DIPUTACIÓN DE ZARAGOZA

INSTITUCIÓN «FERNANDO EL CATÓLICO» (C.S.I.C.)

Fundación Pública de la
Excma. Diputación de Zaragoza
Plaza de España, 2 • 50004 ZARAGOZA (España)
Tff. (34) 976 28 88 78/79 • Fax: (34) 976 28 88 69
ifc@dpz.es

ALGUNAS DE SUS PUBLICACIONES DE ARQUEOLOGÍA Y NUMISMÁTICA ARAGONESAS

AGUAROD OTAL, M.^a Carmen.

Cerámica romana importada de cocina en la Tarraconense.

632 págs., 388 ilust., 4.500 pta.

ALMAGRO, Martín - TORRES ORTIZ, Mariano.

Las fibulas de jinete y de caballito. Aproximación a las élites ecuestres y su expansión en la Hispania céltica.

276 págs., 70 ilust., 3.000 pta.

Aragón Litoral Mediterráneo.

Intercambios durante la Prehistoria (Actas).

664 págs., 10.000 pta.

ASENSIO ESTEBAN, José A.

La Ciudad en el mundo prerromano.

462 págs., 3.000 pta.

BELTRÁN LLORIS, Francisco (Ed.).

Roma y el nacimiento de la Cultura Epigráfica. (Actas).

362 págs., 4.000 pta.

BURILLO MOZOTA, Francisco (Coord.).

IV Simposio sobre los celtíberos. Economía.

564 págs., 86 ilust., 5.000 pta.

CABALLERO ZOREDA, Luis, y otros.

Arcóbriga, II.

332 págs., 148 ilust., 3.500 pta.

Casa urbana hispanorromana, La (Actas).

388 págs., 191 ilust., 4.000 pta.

CAPALVO LIESA, A.

Celtiberia. Un estudio de fuentes literarias antiguas.

280 págs., ilust., 3.000 pta.

Caesaraugusta.

Publicaciones de la Cátedra José Galiay.

Último volumen aparecido: 72 (1997).

896 págs., 4.500 pta.

ERICE LACABE, Romana.

Las fibulas del Nordeste de la Península Ibérica.

336 págs., 4.000 pta.

Estado actual de la Arqueología en Aragón.

Vol. I. 332 págs., 52 ilust., 1.750 pta.

Vol. II. 392 págs., 132 ilust., 1.750 pta.

FATÁS, Guillermo y MARTÍN BUENO, Manuel A.

Epigrafía romana de Zaragoza y su provincia.

144 págs., 300 pta.

GALVE IZQUIERDO, P.

Los antecedentes de Caesaraugusta. Estructuras domésticas de Salduie.

200 págs., ilust., 2.500 pta.

GIMENO PASCUAL, H.

Historia de la investigación epigráfica en España en los ss. XVI y XVII, a la luz del recuperado manuscrito del Conde de Guimerá.

276 págs., ilust., 3.000 pta.

GUIRAL PELEGRÍN, C. y MARTÍN-BUENO, M.

Bilbilis. Decoración pictórica y estucos ornamentales.

552 págs., ilust., 5.000 pta.

HERNÁNDEZ LATAS, J. A. - GUIRAL PELEGRÍN, C. - MOSTALAC CARRILLO, A.

Álbum de Pompeya de Bernardino Montañés, 1849.

224 págs., 105 ilust., 8.000 pta.

LOSTAL PROS, Joaquín.

Los Miliarios de la provincia tarraconense.

458 págs., 147 ilust., 5.000 pta.

PAZ PERALTA, Juan Ángel.

La Cerámica de mesa romana de los siglos II al VI d.C.

276 págs., 66 ilust., 2.500 pta.

Red viaria en la Hispania romana, La.

456 págs., 129 ilust., 2.000 pta.

SOPEÑA GENZOR, Gabriel.

Ética y Ritual. La religiosidad de los pueblos celtibéricos.

392 págs., 4.000 pta.

TORREGARAY PAGOLA, Elena.

La elaboración de la tradición sobre los «Cornelii Scipiones»: pasado histórico y conformación simbólica.

244 págs., 3.000 pta.

VILLAR, Francisco - BELTRÁN, Francisco (Eds.).

Pueblos, lenguas y escrituras en la Hispania romana (Actas del VII Coloquio sobre lenguas y culturas paleohispánicas).

784 págs., 52 ilust., 7.000 pta.